



Energie- und Treibhausgas-
Szenario Transition 2040

Bericht für das Szenario Transition 2040
mit einer Zeitreihe von 2020 bis 2050

ENERGIE- UND TREIBHAUSGAS- SZENARIO TRANSITION 2040

***Bericht für das Szenario Transition 2040
mit einer Zeitreihe von 2020 bis 2050***

Thomas Krutzler
Ilse Schindler
Raphael Wasserbaur

REPORT
REP-0880

WIEN 2023

Projektleitung Thomas Krutzler

Autor:innen Michael Anderl, Siegmund Böhmer, Michael Gössl, Bernd Gugele, Christian Heller, Holger Heinfellner, Günther Lichtblau, Michael Miess, Wolfgang Schieder, Ilse Schindler, Alexander Storch, Sigrid Svehla-Stix, Johanna Vogel, Raphael Waserbaur, Herbert Wiesenberger, Ralf Winter, Andreas Zechmeister (Umweltbundesamt)

Kurt Kratena (CESAR)

Andreas Müller (e-think)

Paul Pfaffenbichler (TU Wien/IVV)

Michael Schwingshackl, Stefan Hausberger (TU Graz/ITnA)

Lektorat Ira Mollay

Layout Sarah Perfler

Umschlagfoto © Sean Gladwell – Fotolia.com

Auftraggeber Diese Publikation wurde im Auftrag des BMK erstellt.

Synthesebericht unter Verwendung der Ergebnisse der Teilberichte:

- e-think: Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher
- ITnA/TU Graz: Monitoring Mechanism 2022 und Szenario Transition – Verkehr
- IVV/TU Wien: Modellierung von Personenverkehrsmaßnahmen im Rahmen der Energiewirtschaftlichen Szenarien im Hinblick auf die Klimaziele 2030 und 2050

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2024

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-719-4

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	6
SUMMARY	14
1 EINLEITUNG	22
2 STORYLINES FÜR SZENARIO TRANSITION	26
2.1 Gesellschaftliche Entwicklungen	26
2.2 Industrie	28
2.3 Verkehr	30
2.3.1 Personenverkehr	31
2.3.2 Güterverkehr	34
2.4 Gebäude	35
2.5 Energie	38
2.6 Landwirtschaft	43
3 ENERGIEVERBRAUCH UND ENERGIEAUFBRINGUNG IM SZENARIO TRANSITION	46
3.1 Bruttoinlandsverbrauch	46
3.2 Energetischer Endverbrauch	48
3.2.1 Endverbrauch Verkehr	52
3.2.2 Endverbrauch Industrie	53
3.2.3 Endverbrauch Gebäude	54
3.2.4 Endverbrauch Landwirtschaft	57
3.3 Eisen- und Stahlindustrie	58
3.4 Elektrische Energie	60
3.4.1 Strombedarf Sektoren	60
3.4.2 Stromerzeugung	60
3.4.3 Fernwärmebedarf	63
3.4.4 Fernwärmeerzeugung	63
3.5 Nichtenergetischer Verbrauch, Transportverluste, Verbrauch des Sektors Energie	64
3.5.1 Nichtenergetischer Verbrauch	64
3.5.2 Transportverluste	65
3.5.3 Verbrauch des Sektors Energie	65
3.6 Bilanzen ausgewählter Energieträger	66
3.6.1 Wasserstoff	66

3.6.2	Biomasse inklusive Biomethan.....	66
3.6.3	Erdgaseinsatz	68
3.7	Ökonomische Entwicklung im Szenario Transition.....	69
4	TREIBHAUSGASEMISSIONEN IM SZENARIO TRANSITION.....	73
5	MAßNAHMEN SZENARIO TRANSITION.....	78
5.1	Allgemein	78
5.2	Energie.....	79
5.3	Industrie.....	80
5.4	Verkehr.....	80
5.5	Gebäude	81
5.6	Landwirtschaft	83
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	85
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	86
	TABELLENVERZEICHNIS	87
6	LITERATUR.....	89
	ANHANG 1 – KOPPLUNG DER MODELLE UND KURZBESCHREIBUNGEN DER MODELLE.....	93
	Modell MIO-ES – CESAR/Umweltbundesamt.....	93
	Modell EISSEE – Umweltbundesamt	94
	Modell INVERT/EE-Lab – e-think	97
	Modell MARS – TU Wien/IVV.....	98
	Modell NEMO – TU Graz/ITnA.....	100
	Modell GEORG – TU Graz/ITnA	101
	ANHANG 2 – GRUNDLEGENDE PARAMETER FÜR DAS SZENARIO TRANSITION	103
	ANHANG 3 – DETAILERGEBNISSE EISEN- UND STAHLERZEUGUNG	104
	ANHANG 4 – TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES SZENARIO TRANSITION VON 1990 BIS 2050	108

ZUSAMMENFASSUNG

Das Umweltbundesamt erstellt in regelmäßigen Intervallen Szenarien über die Entwicklung von österreichischen Treibhausgasemissionen, die als Grundlage zur Erfüllung der EU-Berichtspflicht im Rahmen der Governance-Verordnung (VO (EU) 2018/1999) herangezogen werden. Die vorliegenden Szenarien dienen auch als Input für Diskussionen und politische Entscheidungsfindungen zur Umsetzung des Fit-for-55-Pakets der EU und der Zielerreichung der Klimaneutralität bis 2040.

Projektkonsortium Als Basis für die Berechnung der Treibhausgas- (THG-)Emissionen wurde von einem Konsortium ein Modellsystem entwickelt, das mehrere Sektormodelle verknüpft und energiewirtschaftliche sowie makroökonomische Entwicklungen berechnen kann. Das Konsortium setzt sich aus dem Center of Economic Scenario Analysis and Research (CESAR), dem Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme (ITnA) der TU Graz, dem Institut für Verkehrswissenschaften (IVV) der TU Wien und dem Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think) sowie dem Umweltbundesamt zusammen.

Projektbeirat Ein Projektbeirat mit Vertreter:innen des BMK, BMF, BML, BMBWF, BMAW, BKA, der Bundesländer sowie WKO, LK, OE, EEÖ, IV, AK und ÖGB begleitete das Projekt, um Input und Feedback in die Arbeiten einfließen lassen zu können.

Szenario Transition Mit dem Szenario Transition soll aufgezeigt werden, ob bzw. wie das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 erreicht werden kann. Klimaneutralität wird als national bilanzielle Netto-Null-Emissionen verstanden. Das Szenario ist weder normativ noch präskriptiv, sondern soll mögliche Pfade in Richtung Klimaneutralität aufzeigen.

Basierend auf dem im Projekt entwickelten Energieszenario und weiteren Projektionsmodellen für die Sektoren Landwirtschaft (basierend auf Modellergebnissen des WIFO), Abfall, F-Gase, Diffuse Emissionen und Lösemittel (jeweils Umweltbundesamt) konnte für sämtliche Treibhausgas-Sektoren ein nationales Energie- und Treibhausgasemissionsszenario bis 2050 entwickelt werden.

Das Szenario umfasst den Zeitraum von 2020 bis 2050 und beinhaltet umfangreiche Annahmen bezüglich zahlreicher Inputgrößen, die für das Abbilden der unterschiedlichen Sektoren notwendig sind.

Endenergieverbrauch 2040 Im Szenario Transition sinkt der Endenergieverbrauch (EEV) bis 2040 um rund 30 % bezogen auf 2020, vor allem durch Einsparungen in den Sektoren Verkehr, Haushalte und Industrie (siehe Tabelle A und Abbildung A).

Verkehr, Gebäude, Industrie Diese Sektoren tragen am stärksten zur Reduktion des Energieverbrauchs bei (siehe Tabelle A und Abbildung A). Im Verkehr führen vor allem die Elektrifizierung des Personenverkehrs, ein insgesamt geringeres Verkehrsaufkommen und der Ausbau der öffentlichen Verkehrsmittel zu Energieeinsparungen von -58 % bis 2040. Im Sektor Gebäude, der Haushalte und Dienstleistungen inkludiert, werden Einsparungen von 22 % bis 2040, vor allem durch höhere Energieeffizienzstandards und Gebäudesanierungen, erzielt. Die Industrie senkt durch

Energieeffizienzmaßnahmen, Prozessumstellungen und Kreislaufwirtschaft ihren Energieverbrauch bis 2040 um 13 %.

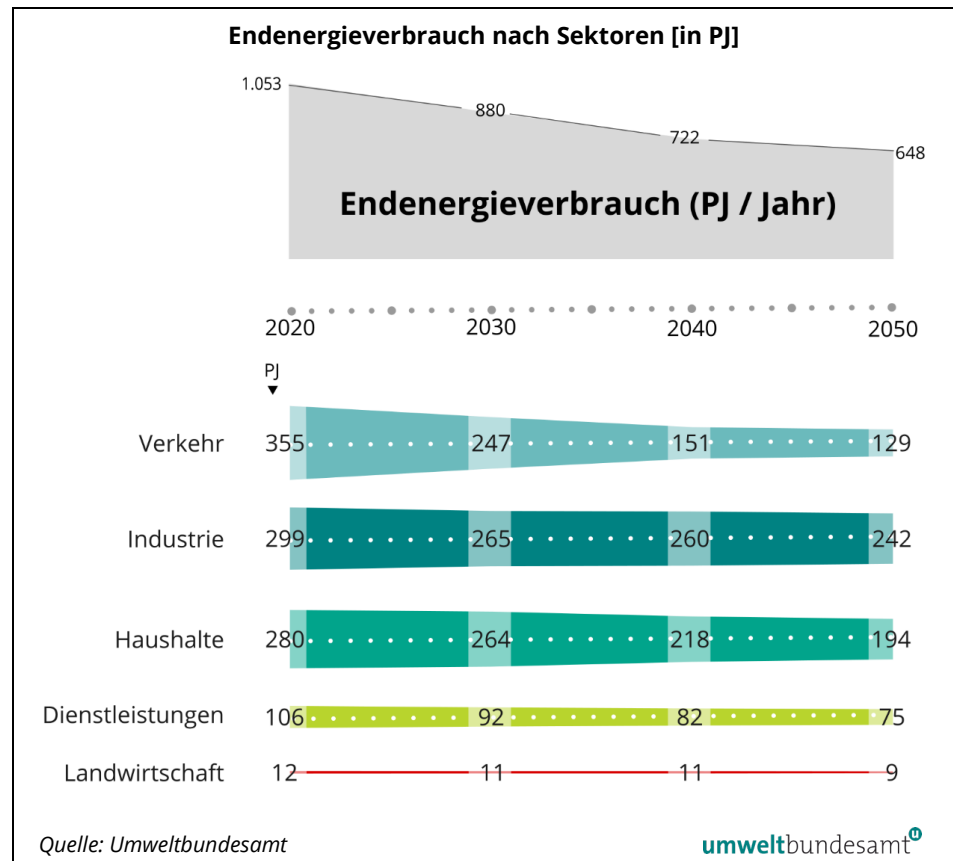
*Tabelle A:
Energetischer Endverbrauch nach Sektoren
(Quellen: Statistik Austria, Umweltbundesamt).*

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Verkehr	355	247	151	129
Industrie	299	265	260	242
Haushalte	280	264	218	194
Dienstleistungen	106	92	82	75
Landwirtschaft	12	11	11	9
EEV gesamt	1.053	880	722	648

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können sich Rundungsdifferenzen ergeben.

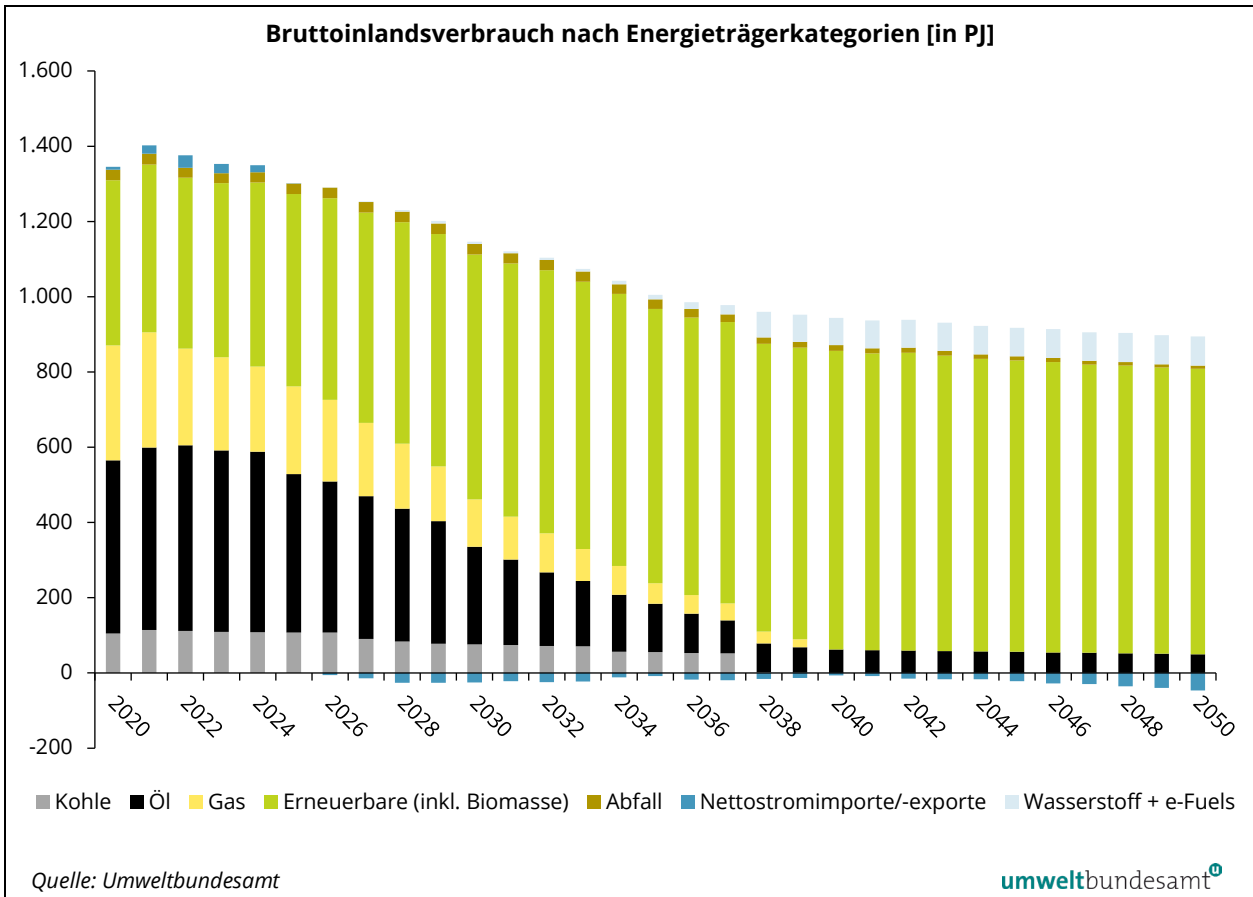
** Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).*

*Abbildung A:
Verlauf des Endenergieverbrauchs nach Sektoren von 2020 bis 2050.*



Bruttoinlandsverbrauch Im Szenario Transition sinkt der Bruttoinlandsverbrauch (BIV) bezogen auf 2020 im Jahr 2040 um rund 30 % durch allgemeine Effizienzmaßnahmen und Umstellungen bei der Produkterzeugung sowie durch die Umstellung in der Eisen- und Stahlindustrie und die Reduktion der Kapazität der Raffinerie (siehe Abbildung B). Die Umwandlungsverluste sinken durch den starken Ausbau erneuerbarer Energieträger (v. a. Wind und PV).

Abbildung B: Bruttoinlandsverbrauch des Szenario Transition nach Energieträgerkategorien 2020–2050.



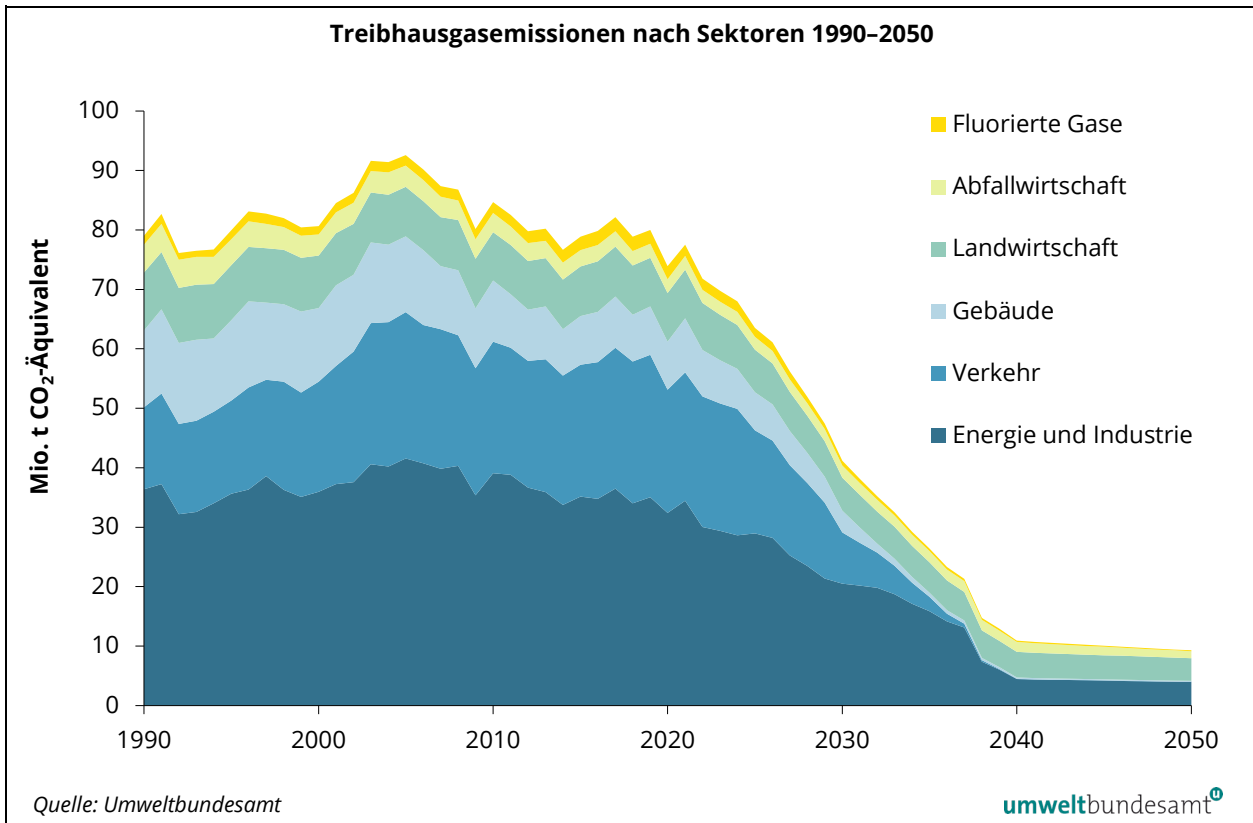
Bei negativen Werten wird in Österreich mehr Strom erzeugt als verbraucht.

THG-Emissionen Im Rahmen des „Fit for 55“-Pakets der EU-Klimagesetzgebung wurden die nationalen Zielpfade unter der Effort-Sharing-Regulation (ESR) angepasst, für Österreich bedeutet das gemäß Verordnung (EU) 2023/857 einen Zielwert -48 % gegenüber 2005. Im Szenario Transition wird mit einer Treibhausgas-Reduktion um 57 % außerhalb des Emissionshandels im Jahr 2030 der EU-Zielwert deutlich unterschritten. Nicht gebrauchte Zertifikate könnten an andere Mitgliedstaaten verkauft werden.

Werden alle Sektoren inklusive Emissionshandel betrachtet, so reduzieren sich die Emissionen im Jahr 2040 gegenüber 1990 um 86 %. Das nationale Ziel der Klimaneutralität 2040 kann aufgrund der verbleibenden Emissionen von 11,0 Mio. Tonnen CO₂-äq in den Bereichen Landwirtschaft, Abfallindustrie, Fluorierte Gase (F-Gase) und industrielle Energie- bzw. Prozessemissionen nur mit

zusätzlichen Maßnahmen zur Erhöhung der Senkenleistung bzw. mit Kompensationsmaßnahmen erfüllt werden (siehe Abbildung C). Dies gilt ebenso für das EU-Ziel der Klimaneutralität 2050.

Abbildung C: Entwicklung der THG-Emissionen nach Sektoren 1990 bis 2050.



**erneuerbare
Energieträger**

Das Szenario Transition ist durch eine Verringerung des Energieverbrauchs, starke Elektrifizierung und durch eine höhere Aufbringung der Energie aus erneuerbaren Energieträgern geprägt: erneuerbarer Strom, Biomasse, grüner Wasserstoff, Biogas und erneuerbare Wärme (siehe Abbildung D).

Die inländische Stromerzeugung im Szenario Transition steigt vom Jahr 2020 bis 2040 um zwei Drittel. Die Deckung des inländischen Stromverbrauchs im Jahr 2030 erfolgt national bilanziell zu 100 % erneuerbar. Dadurch werden die Ausbauziele des Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzes (BGBl. I Nr. 150/2021) übererfüllt. Der Zielwert für den Ausbau erneuerbarer Energieträger von 27 TWh bis 2030 wird um 12 TWh überschritten. Wind und Photovoltaik (PV) tragen bis 2040 mit 70 TWh zur nationalen Stromerzeugung bei.

**Kapazitätsausbau bei
Wind und PV**

Für Wind und Photovoltaik (PV) wird bis ins Jahr 2030 ein Ausbau entsprechend den Entwicklungen auf europäischer und österreichischer Ebene angenommen. Dies entspricht einer Verzehnfachung bei PV und einer Verdreifachung bei Wind gegenüber 2020. Im Vergleich zu 2010 gab es bis 2021 bereits mehr als eine Verdreifachung bei Wind von 7 PJ zu 24 PJ und eine Verdreißigfachung bei der Photovoltaik von 0,3 PJ auf 10 PJ (Statistik Austria, 2021b). Im Jahr 2040 ist die

Stromerzeugung zu 100 % erneuerbar mit 2 TWh Stromexport. Verglichen mit 2020 wird im Jahr 2040 die vierfache Strommenge aus Windkraft und die zwanzigfache Menge aus Photovoltaik erzeugt. Abbildung E veranschaulicht, was ein solcher Ausbau der erneuerbaren Energieträger bedeutet. Dies bedingt eine Vervielfachung der existierenden Kapazitäten: im Jahre 2030 in etwa 20 GW für PV und ca. 8 GW für Wind und im Jahr 2040 in etwa 40 GW für PV und ca. 12 GW für Wind. Dieser Ausbau erfordert jedoch eine ganze Reihe von Maßnahmen, wie zum Beispiel rasche Genehmigungsverfahren, die Ausweisung von Eignungszonen und den Netzausbau.

**Infrastruktur-
Anpassung**

Eine Konsequenz dieser weitgehenden Umstellung des Energiesystems ist, dass die Infrastruktur entsprechend angepasst werden muss, beispielsweise durch die Errichtung von Wasserstoffproduktionsanlagen und -pipelines, einen Umbau der Gasinfrastruktur (Biomethaneinspeisung, Umrüstung von Methan- auf Wasserstoffleitungen, Rückbau der Leitungsebenen 2 und 3 unter Bedachtnahme auf die Biogaseinspeisung) und einen Ausbau der Stromübertragungsinfrastruktur. Das höherrangige Leitungssystem für Strom sowie Gas wird im Österreichischen Netzinfrastukturplan im Detail abgebildet (BMK, 2023).

Abbildung D:
Endenergieverbrauch
nach Energieträgern von
2020 bis 2050.

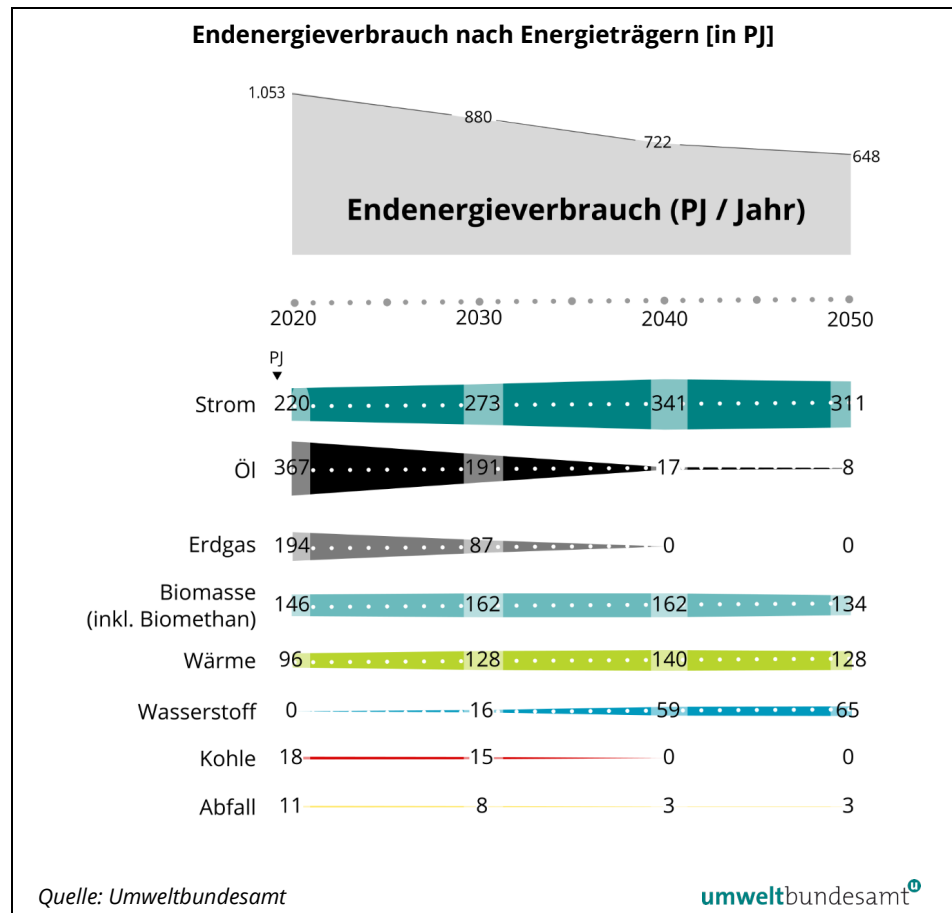
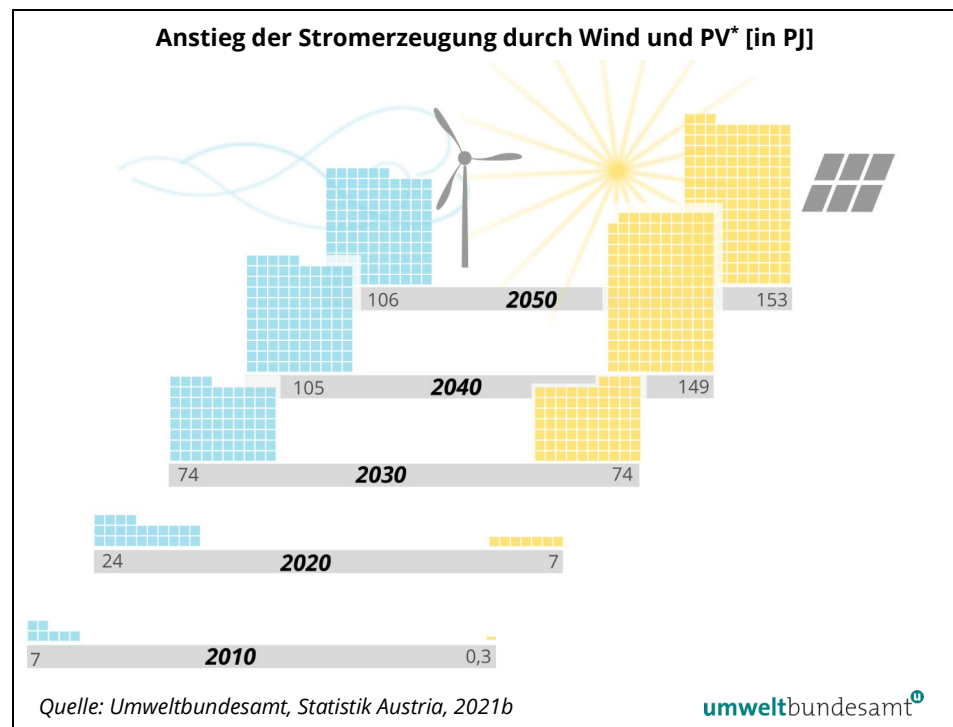


Abbildung E:
Anstieg der Stromerzeugung aus Wind und PV
2010 bis 2050.



* Ein Quadrat entspricht einem Petajoule erzeugter elektrischer Energie.

Tabelle B: Stromerzeugung nach Energieträgern für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

	Energiebilanz		Szenario Transition					
	2020		2030		2040		2050	
	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]
fossil	50	14	22	6	1	0	1	0
Wasserkraft	151	42	169	47	173	48	173	48
Biomasse (inkl. Biomethan)	17	5	20	6	21	6	23	6
Geothermie	0	0	0,3	0,1	4	1	4	1
Photovoltaik	7	2	74	21	149	41	153	42
Wind	24	7	74	21	105	29	106	29,5
Wasserstoff	-	-	0,4	0,1	4	1	4	1
Stromerzeugung gesamt	249	69	360	100	457	127	463	128
Netto-Importe	8	2	-25	-7	-7	-2	-46	-13

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

Tabelle C: Zusammenfassung der wichtigsten Kennzahlen zum Szenario Transition.

Angaben in		2020	2030	2040	2050	Ziele 2030
PJ	EEV	1.053	880	722	648	
	BIV	1.346	1.131	937	848	
	Anteil erneuerbare Energie	36,6 %	63 %	98 %	105 %	46 %–50 %
	Anteil erneuerbare Energie Strom	78 %	101 %	101 %	111 %	100 %
Mio t CO ₂ -äq	THG	73,9	41,2	11,0	9,4	
	THG non-ETS*	46,9	24,5	7,1	5,9	
	Reduktion non-ETS gg. 2005	-18 %	-57 %	-88 %	-89 %	-48 %

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

Gemäß Entwurf der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III) soll der Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Bruttoendenergieverbrauch der EU bis 2030 von 32 % auf 42,5 % ansteigen.

* THG non-ETS: Sektoreinteilung nach Klimaschutzgesetz (BGBl. I Nr. 106/2011) – ohne Emissionshandel und ohne CO₂-Emissionen aus nationalem Flugverkehr

ökonomische Effekte Die Entwicklung der makroökonomischen Indikatoren Wertschöpfung, Investitionen, privater Konsum und Beschäftigung wurde im Rahmen des Szenario Transition mittels eines makroökonomischen Input-Output-Modells ermittelt. In Abbildung F werden die Ergebnisse des **Szenario Transition** mit dem **Szenario WEM** (with existing measures)¹ verglichen.

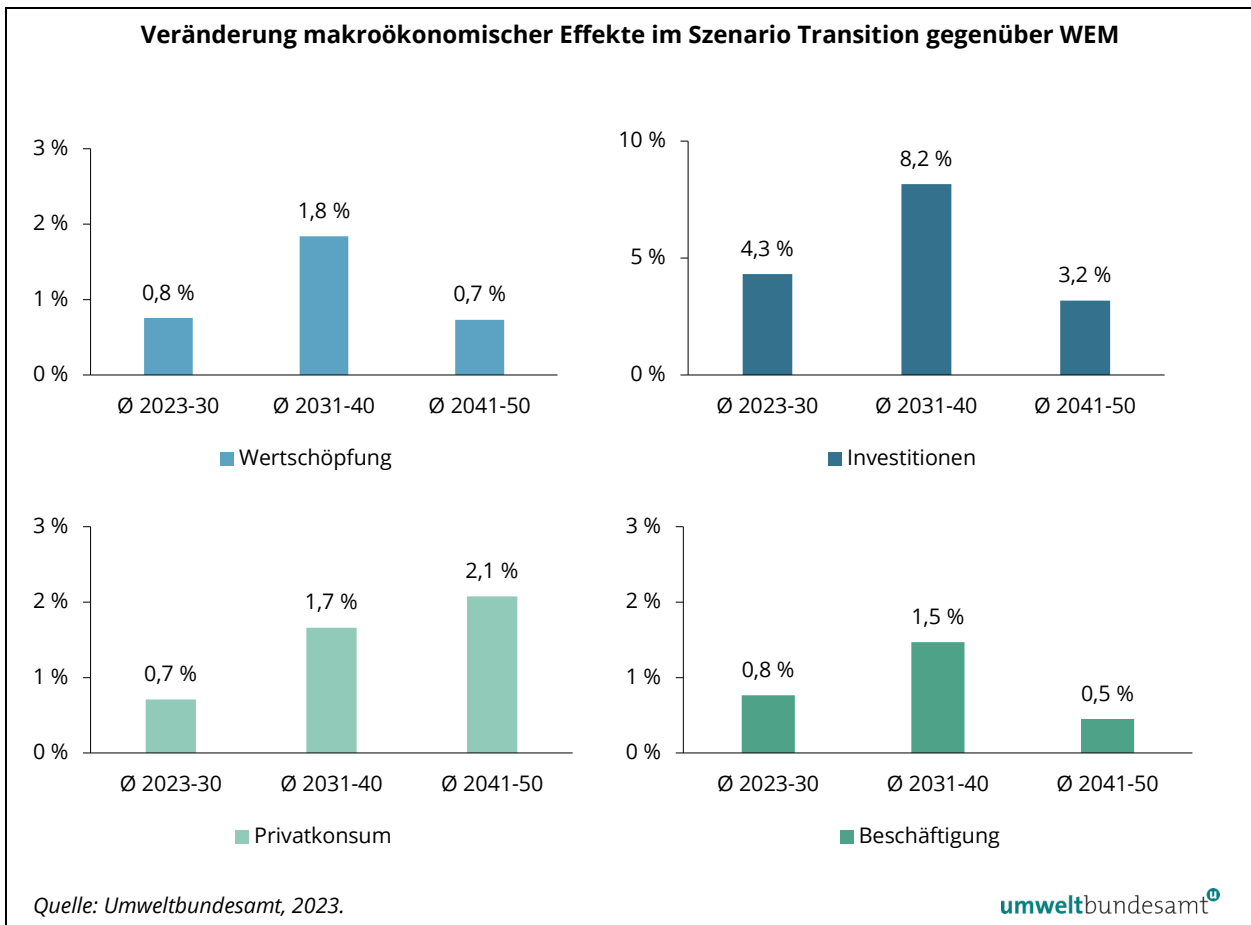
Die über das Szenario WEM hinausgehenden **Investitionen** im Energie-, Gebäude-, Verkehrs- und Industriesektor (Ausbau erneuerbarer Energieträger, Gebäudesanierungen, Heizkesseltausch und Umstieg auf klimaneutrale Mobilität bzw. Produktionsprozesse) stellen bedeutende Impulse für die österreichische Wirtschaft dar. Die zusätzlichen Investitionen wachsen bis in die späten 2030er-Jahre besonders stark und liegen über den gesamten Zeitraum betrachtet im Szenario Transition durchschnittlich 5,2 % über dem Szenario WEM.

Wertschöpfung und Beschäftigung Die **Wertschöpfung** im Szenario Transition liegt stets über dem Wert des Szenario WEM. Im Durchschnitt der Periode von 2023 bis 2050 sind es etwa plus 1,1 %. Die Wertschöpfung (entspricht BIP exklusive Gütersteuern und Gütersubventionen) wächst von 2023 bis 2050 im Durchschnitt um etwa 1,37 % pro Jahr. Das Szenario Transition weist auch eine höhere Beschäftigung auf als das **Szenario WEM**. Im Durchschnitt der Jahre 2023 bis 2050 liegt die Beschäftigung 0,9 % (entspricht jährlich 40.000 Vollzeitäquivalenten) über dem WEM-Niveau. Die Arbeitslosenrate sinkt von 4,6 % in der ersten Dekade (2023–2030) auf 2,9 % in der letzten Dekade (2041–2050).

¹ Im Szenario WEM wurden jene Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem 1. Jänner 2022 in Österreich und der EU umgesetzt bzw. rechtlich verankert wurden.

Verteilungswirkungen Die **verfügbaren Haushaltseinkommen** aller Einkommensgruppen liegen bis 2040 aufgrund der im Szenario Transition hinterlegten Maßnahmen und einkommensbezogenen Förderungen über dem Niveau des Szenario WEM. Die steigenden Energiepreise werden durch Transferleistungen an die Haushalte (Klimabonus, einkommensabhängige Förderungen) zu großen Teilen kompensiert, wobei ab Mitte der 2030er Jahre die einkommensabhängigen Transfers im Sinne einer **Just Transition** schrittweise erhöht werden.

Abbildung F: Veränderungen makroökonomischer Größen im Szenario Transition gegenüber dem Referenzszenario WEM.



SUMMARY

At regular intervals, the Environment Agency Austria creates scenarios about the development of Austrian greenhouse gas (GHG) emissions, which are used as a basis for fulfilling the EU reporting obligation within the framework of the Governance Regulation (VO 2018/1999/EU). The present scenarios also serve as input for discussions and political decision-making on the implementation of the EU's Fit for 55 package and the achievement of climate neutrality by 2040.

Project consortium As a basis for calculating greenhouse gas emissions, a consortium developed a model system that links several sector models and can calculate energy and macroeconomic developments. The consortium consists of the Center of Economic Scenario Analysis and Research (CESAR), the Institute for Thermodynamics and Sustainable Drive Systems (ITnA) at Graz University of Technology, the Institute for Transport Sciences (IVV) at Vienna University of Technology and the Center for Energy Economics and Environment (e-think) as well as the Environment Agency Austria.

Project advisory board A project advisory board with representatives of the Ministry for Climate Action (BMK), the Federal Chancellery of the Republic of Austria (BKA), the ministry for finance (BMF), the ministry for agriculture (BML), the ministry for education, science and research (BMBWF), the ministry of labour and economy (BMAW), the nine provinces of Austria, the Austrian Federal Economic Chamber (WKO), the Chamber of Agriculture (LK), Oesterreichs Energie (OE), Erneuerbare Energie Österreich (EEÖ), the Federation of Austrian Industries (IV), the Chamber of Labour (AK) and of the Austrian Trade Union Federation (ÖGB) accompanied the project to allow input and feedback to flow into the work.

Scenario Transition The Scenario Transition shows a potential way of how the goal of climate neutrality can be achieved by 2040. Climate neutrality is understood as net zero emissions on the national level.

Based on the energy scenario developed in the project and other projection models for the sectors of agriculture (based on model results from WIFO), waste, F-gases, diffuse emissions and solvents (each from the Environment Agency Austria), a national energy and greenhouse gas emissions scenario was created for all greenhouse gas sectors to be developed by 2050.

The scenario covers the period from 2020 to 2050 and includes extensive assumptions regarding numerous input variables that are necessary for mapping the economic sectors.

final energy consumption 2040 In the Transition Scenario, final energy consumption falls by around 30 % by 2040 compared to 2020, which is mainly due to savings in the transport, household and industry sectors (see Figure A).

transportation, buildings, industry These sectors contribute the most to reducing energy consumption (see Table A and Figure A). In transport, the electrification of passenger transport, an overall lower volume of traffic and the expansion of public transport lead to savings of 58 % until 2040. In the buildings sector, which includes households and services,

significant savings of 22 % until 2040 are achieved, primarily through higher energy efficiency standards and building renovations. Industry reduces its energy consumption by 13 % until 2040 through energy efficiency measures, process changes and measures towards a circular economy.

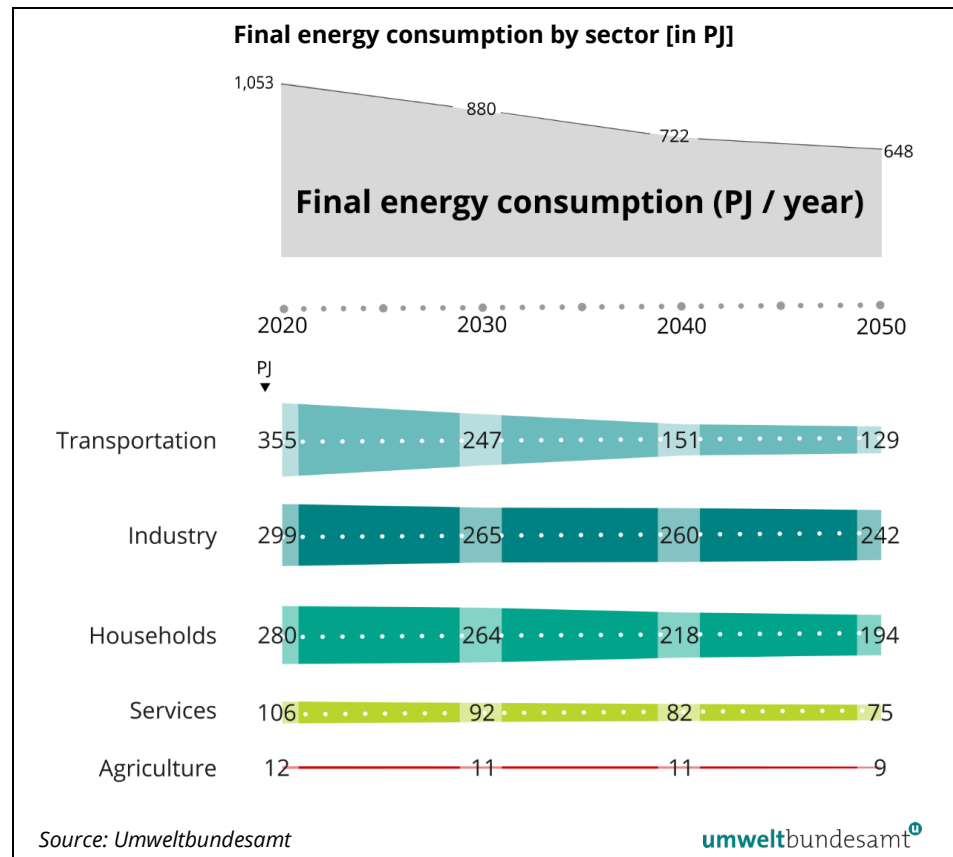
Table A:
Final energy consumption by sector (Sources: Statistics Austria, Environment Agency Austria).

in PJ	Energy balance*	Scenario Transition		
	2020	2030	2040	2050
Transport	355	247	151	129
Industry	299	265	260	242
Households	280	264	218	194
Services	106	92	82	75
Agriculture	12	11	11	9
Total final energy consumption	1,053	880	722	648

Rounding differences may arise due to the presentation without decimal places.

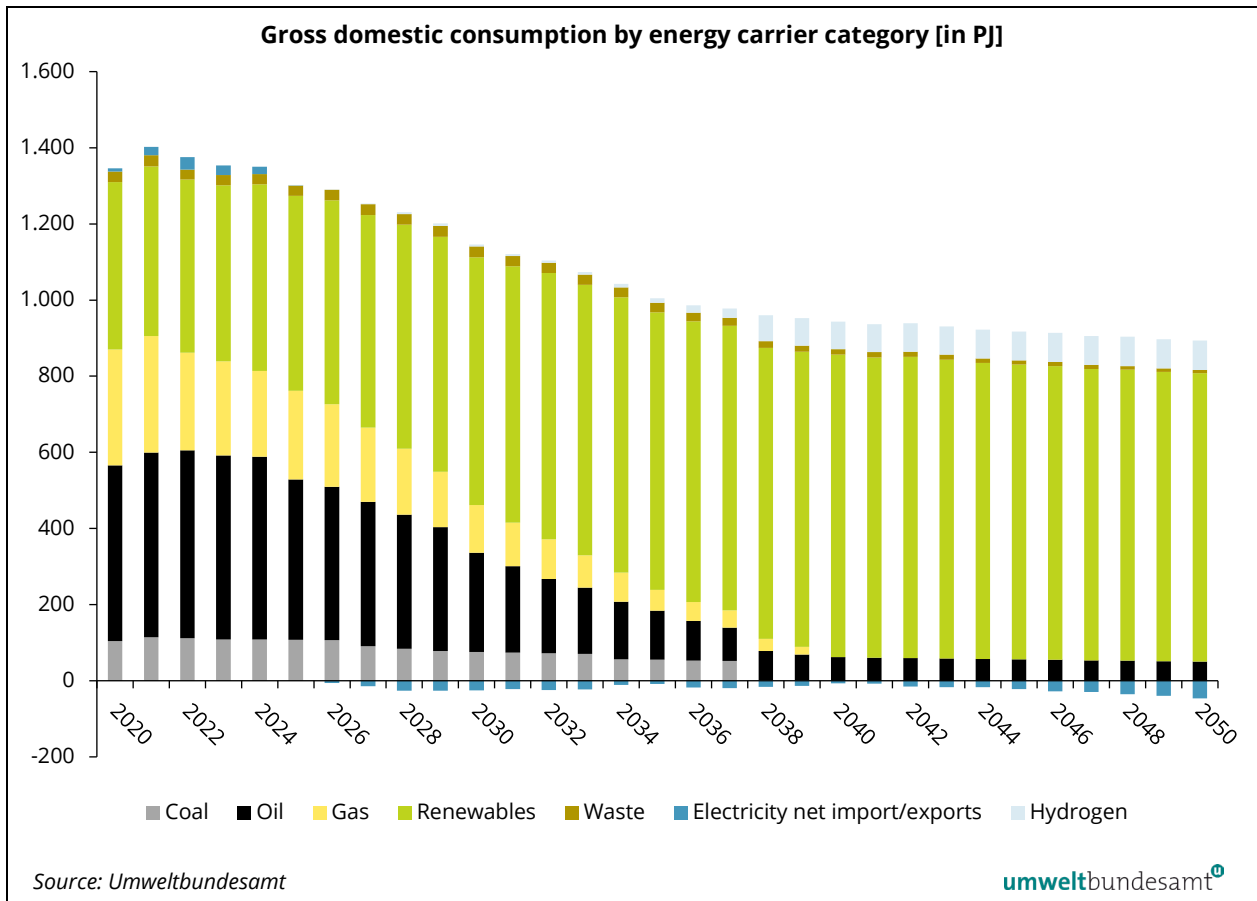
* Energy balance with off-road shift (see Table 6)

Figure A:
Development of final energy consumption by sector from 2020 to 2050.



gross domestic consumption In the Scenario Transition, gross domestic consumption falls by around 30 % in 2040 compared to 2020 due to general efficiency measures and changes in production, as well as due to the change in the iron and steel industry and the halving of the refinery capacity (see Figure B). The conversion losses are falling due to the strong expansion of renewable energy sources (especially wind and PV).

Figure B: Gross domestic consumption of the Scenario Transition by energy source category 2020–2050.

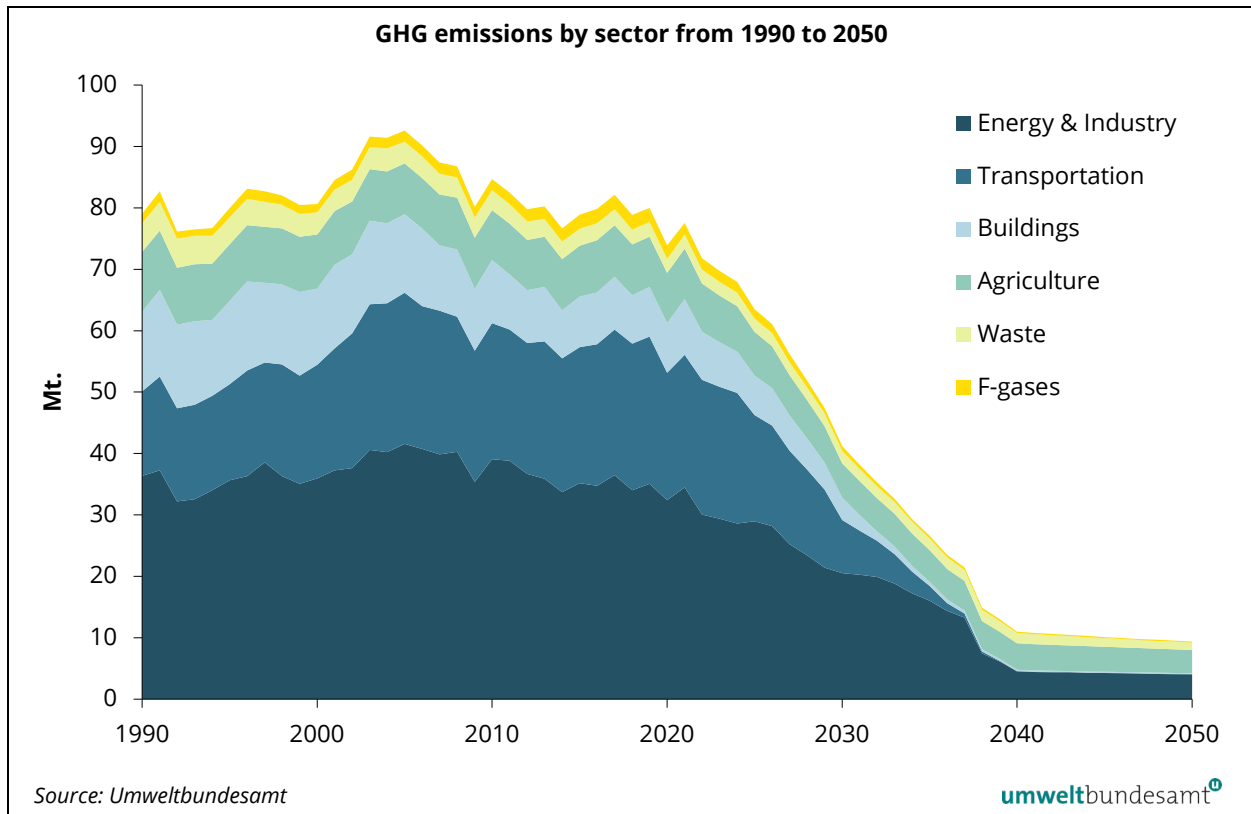


If more electricity is produced in Austria than consumed, the net value is negative.

GHG emissions As part of the “Fit for 55” package of EU climate legislation, the national target paths were adjusted under the Effort Sharing Regulation (ESR); in accordance with Regulation (EU) 2023/857 for Austria this means a target value of -48 % compared to 2005. In the transition scenario the greenhouse gas reduction of 57% outside of the emissions trading system in 2030 is well below the EU target. Not used certificates may be sold to other member states.

If all sectors are considered, including emissions trading, emissions in 2040 will be reduced by 86% compared to 1990. Due to the remaining emissions of 11.0 million tons of CO₂eq in the areas of agriculture, waste industry, fluorinated gases (F-gases) and industrial energy or process emissions, the national goal of climate neutrality in 2040 can only be increased with additional measures to increase CO₂ sink capacities or with compensation measures (see Figure C). This also applies to the EU goal of climate neutrality in 2050.

Figure C: Development of GHG emissions by sector from 1990 to 2050 in million tonnes CO₂-eq.



Renewable energy sources

The Scenario Transition simulates a reduction in energy consumption and a higher supply of energy from renewable energy sources: renewable electricity, biomass, green hydrogen, biogas and renewable heat (see Figure D).

Domestic power generation in the Scenario Transition increases by two thirds from 2020 to 2040. In 2030 domestic electricity consumption can be accounted neutral, as renewable energy will be exported in order to balance a small share of fossil energy production. Thus the goals of the Renewable Energy Expansion Act (Federal Law Gazette I No. 150/2021) are more than achieved. The target value for the expansion of renewable energy sources of 27 TWh by 2030 will be exceeded by 12 TWh. Wind and photovoltaics (PV) will contribute 70 TWh to national electricity generation by 2040.

Capacity expansion of wind and PV

For the expansion of wind and PV up to the year 2030, an expansion in line with the developments at the European and Austrian level is assumed. This corresponds to a tenfold increase in PV and a threefold increase in wind power production compared to 2020. Compared to 2010 in 2021 there already was a 30 times increase in PV from 0,3 PJ to 10 PJ (Statistik Austria, 2021b). In 2040, electricity generation is 100 % renewable with 2 TWh electricity export. Compared to 2020, in 2040 four times the amount of electricity will be generated from wind power and twenty times the amount from photovoltaics. Figure E illustrates what such an expansion of renewable energy means. This requires a multiplication of the existing capacities: in 2030 around 20 GW for PV and around 8 GW

for wind, and in 2040 around 40 GW for PV and around 12 GW for wind. However, this expansion requires a whole series of measures, such as swift permit procedures, designating suitable zones and expanding the network.

Infrastructure adjustment

As a consequence of this extensive conversion of the energy system, the infrastructure must be adapted accordingly, for example the construction of hydrogen production plants and pipelines, a conversion of the gas infrastructure (conversion from methane to hydrogen lines, remodelling of gas grid levels 2 and 3 accounting for additional biomethane injection) and an expansion of the infrastructure for electricity transmission. The upper levels of the electricity and natural gas grids are presented in detail in the ONIP (BMK, 2023).

Figure D:
Final energy consumption by energy carrier from 2020 to 2050.

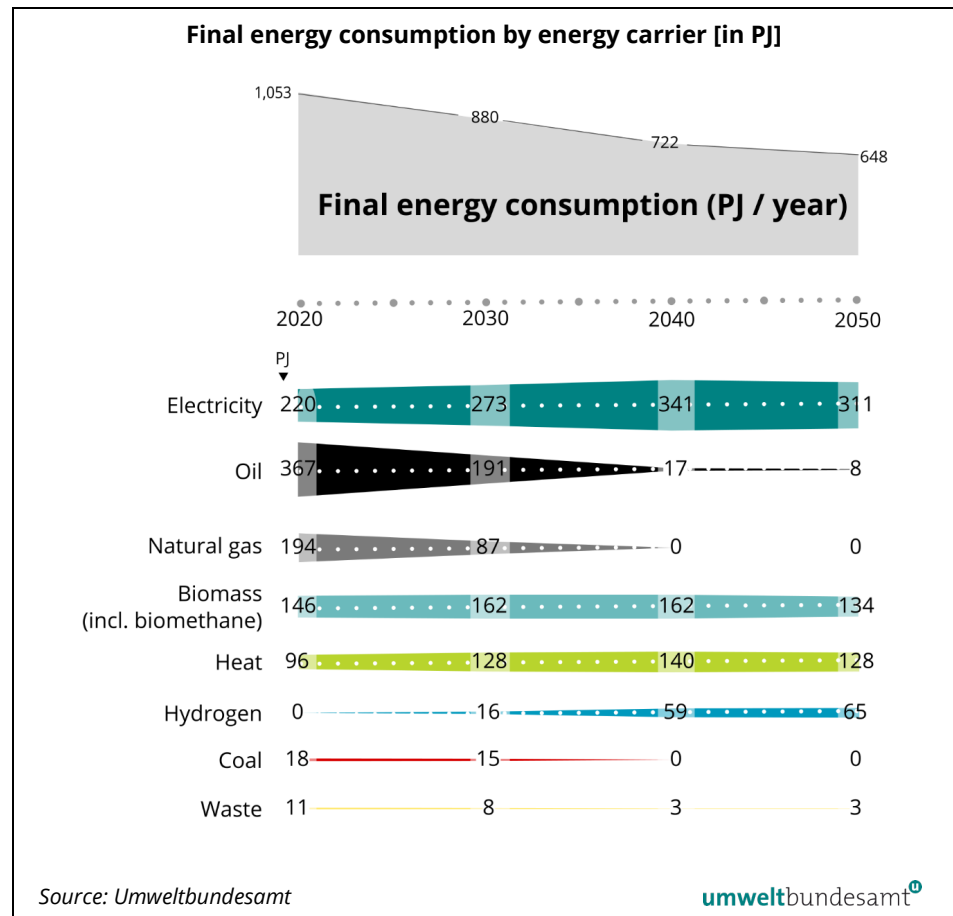
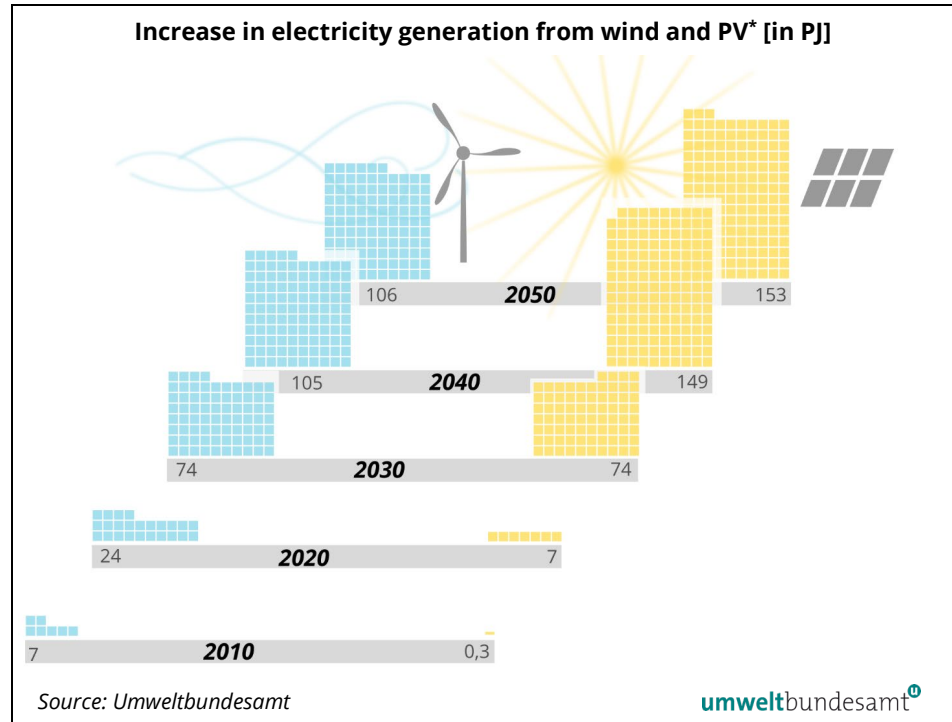


Figure E:
Increase in electricity generation from wind and PV 2010 to 2050.



* A square corresponds to a Petajoule of electrical energy produced.

Table B: Electricity generation by energy sources for selected years (sources: Statistics Austria 2021b, Environment Agency Austria).

	Energy balance		Scenario Transition					
	2020		2030		2040		2050	
	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]
Fossil	50	14	22	6	1	0	1	0
Hydropower	151	42	169	47	173	48	173	48
Biomass (incl. Bi-omethane)	17	5	20	6	21	6	23	6
Geothermal energy	0	0	0,3	0,1	4	1	4	1
Photovoltaics	7	2	74	21	149	41	153	42
Wind	24	7	74	21	105	29	106	29,5
Hydrogen	-	-	0,4	0,1	4	1	4	1
Total electricity generation	249	69	360	100	457	127	463	128
Net imports	8	2	-25	-7	-7	-2	-46	-13

Rounding differences may arise due to the presentation without decimal places.

Table C: Summary of the most important key figures for the Scenario Transition.

Unit		2020	2030	2040	2050	Target 2030
PJ	Final energy consumption	1,053	880	722	648	
	Gross domestic consumption	1,346	1,131	937	848	
Mt CO ₂ -eq	Share renewable energy	36.6 %	63 %	98 %	105 %	46 %–50 %
	Share renewable electricity	78 %	101 %	101 %	111 %	100 %
	GHG	73.9	41.2	11.0	9.4	
Mt CO ₂ -eq	GHG non-ETS*	46.9	24.5	7.1	5.9	
	Reduction non-ETS compared to 2005	-18 %	-57 %	-88 %	-89 %	-48 %

Rounding differences may arise due to the presentation without decimal places.

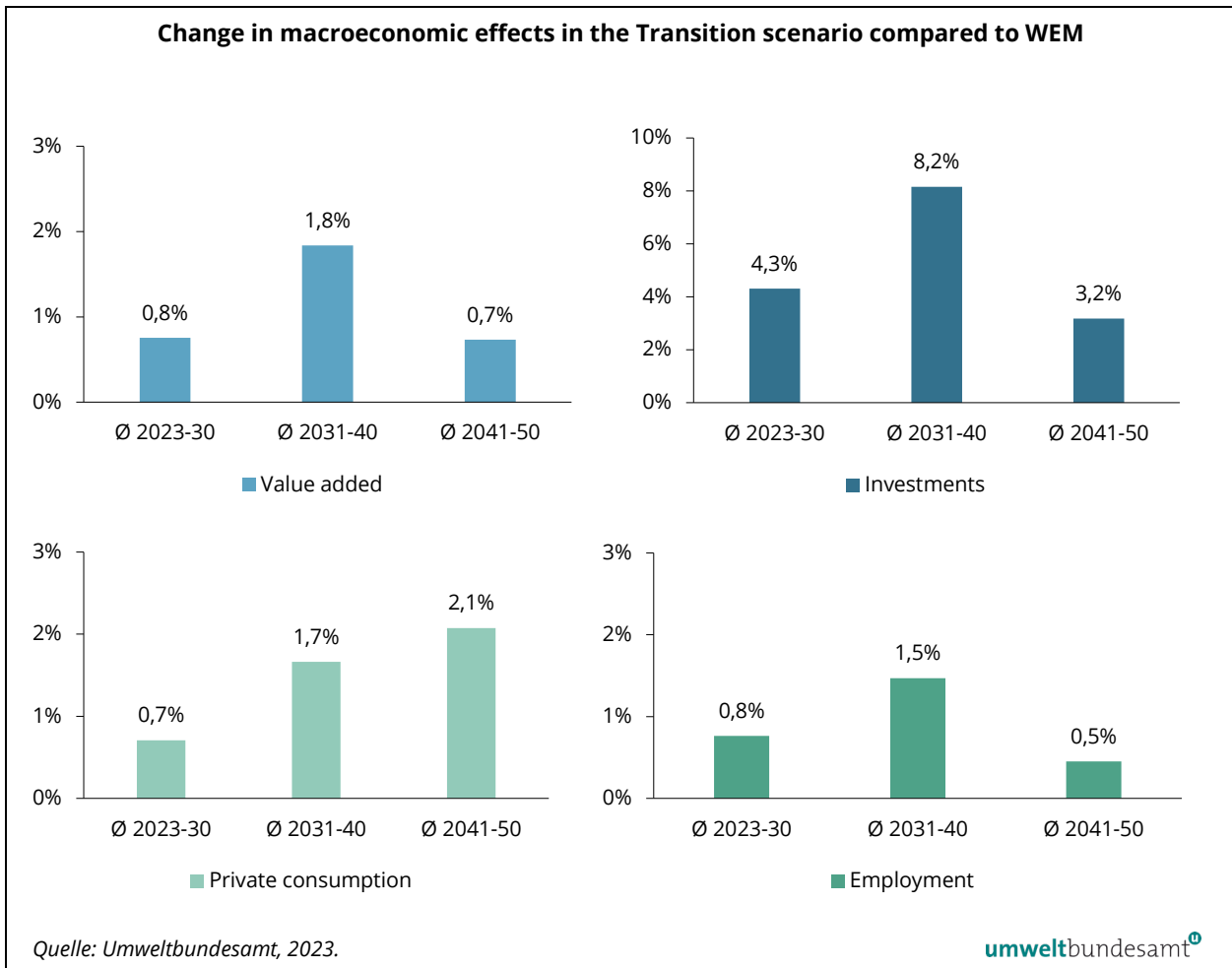
* GHG non-ETS: Sector classification according to the Climate Protection Act (BGBl. I Nr. 106/2011) – without the emissions trading system (ETS) and without CO₂ emissions from national air traffic

Economic effects The development of the macroeconomic indicators of value added, investment, private consumption and employment was determined as part of the Scenario Transition using a macroeconomic input-output model. Figure F compares the results of the Scenario Transition with the Scenario WEM (with existing measures). The **investments** in the energy, building, transport and industry sectors that go beyond the Scenario WEM (expansion of renewable energy sources, building refurbishment, boiler replacement and switch to climate-neutral mobility, production processes) represent significant stimuli for the Austrian economy. The additional investments grow particularly strongly until the late 2030s and are on average 5.2 % higher over the entire period in the Scenario Transition than in the Scenario WEM.

Value added and employment The **value added** in the Scenario Transition is always above the value added of the Scenario WEM; on average in the period from 2023 to 2050 around plus 1.1 %. Value added (corresponds to GDP excluding taxes and subsidies on goods) grows by an average of around 1.37 % per year from 2023 to 2050. The Scenario Transition also shows higher **employment** than the Scenario WEM. On average from 2023 to 2050, employment is 0.9 % (equivalent to 40,000 full-time equivalents per year) above the WEM level. The unemployment rate falls from 4.6 % in the first decade (2023-2030) to 2.9 % in the last decade (2041-2050).

Income distribution Due to the measures and income-related subsidies included in the Scenario Transition the **disposable household incomes** of all income groups are above the level of the Scenario WEM by 2040. The rising energy prices are largely compensated for by transfers to households (climate bonus, income-related subsidies), whereby the income-related transfers are gradually increased from the mid-2030s in the sense of a **Just Transition**.

Figure F: Change in macroeconomic effects in the Transition scenario compared to the reference scenario WEM.



1 EINLEITUNG

Motivation Das Klimaübereinkommen von Paris (BGBl. III Nr. 197/2016) sieht eine Begrenzung des durchschnittlichen globalen Temperaturanstiegs auf deutlich unter 2 °C vor. Als nationaler Beitrag zur Zielerreichung wurde im Regierungsprogramm eine „Klimaneutralität in Österreich bis 2040“ formuliert (BKA, 2020). Dafür ist es u. a. erforderlich, dass der Einsatz fossiler Energieträger drastisch eingeschränkt wird. Erreicht werden kann das durch eine Senkung des Energieverbrauchs und einen deutlichen Ausbau erneuerbarer Energieträger.

Zu einer möglichen Dekarbonisierung des österreichischen Energiesystems im Jahr 2040 ist ein weitreichender Wandel von Gesellschaft und Wirtschaft erforderlich. Im Fokus stehen daher im Szenario Transition Investitionen in jene langlebigen Infrastrukturen und zukunftsfähigen Technologien, die einen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energie ermöglichen. Wesentliche Annahmen betreffen die Verringerung der Verkehrsleistung und ein nachhaltiges Mobilitätsmanagement, hohe Energieeffizienzstandards in den Sektoren Industrie und Gebäude, verstärkte Energieraumplanung, nachhaltige Landwirtschaft und einen Übergang zur Kreislaufwirtschaft.

Projektkonsortium Als Basis für die Berechnung der Treibhausgasemissionen wurden durch ein Konsortium mithilfe eines Modellsystems u. a. energiewirtschaftliche Grundlagendaten entwickelt. Das Konsortium setzt sich aus dem Center of Economic Scenario Analysis and Research (CESAR), dem Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebstechnologien (ITnA) der TU Graz, dem Institut für Verkehrswissenschaften (IVV) der TU Wien und dem Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think) sowie dem Umweltbundesamt zusammen.

Die energiewirtschaftlichen Inputdaten und Szenarien decken alle energetischen Sektoren ab und ermöglichen die Abbildung und Quantifizierung von Maßnahmen.

verwendete Modelle Zur Berechnung der Szenarien wurden folgende Modelle und Beiträge der jeweiligen Institutionen verwendet:

- CESAR (Center of Economic Scenario Analysis and Research) – Umweltbundesamt MIO-ES; Sozioökonomische Parameter und Effekte, Umwandlungs- und Endenergieverbrauch.
- ITnA (Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebe der TU Graz) – Modelle NEMO, KEX-Modul, GEORG; Energieverbrauch und Emissionen des Sektors Verkehr (inkl. offroad).
- IVV (Institut für Verkehrswissenschaften der TU Wien) – Modell MARS; Verkehrsaufkommen und Modal Split.
- e-think (Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt) – Energiepreise, Modell INVERT/EE-Lab; Kühlung, Raumwärme und Warmwasser inklusive Strombedarf für Haushalte und Dienstleistungen, Fernwärmebedarf.

- Umweltbundesamt – Eisen- und Stahlindustrie, Abfallaufkommen, alternative Kraftstoffe, Elektromobilität, industrielle Branchen und Eigenstromerzeuger, Photovoltaik und Windenergieerzeugung, Verdichterstationen, Gesamtkoordination, Projektleitung.

Eine Kurzbeschreibung der verwendeten Modelle und exogenen Berechnungen ist in Anhang 1 dargestellt. Zur detaillierten Beschreibung der Modelle siehe die Detailberichte der jeweiligen Organisationen (e-think, 2023, IVV, 2017, ITnA, 2023, CESAR, 2020).

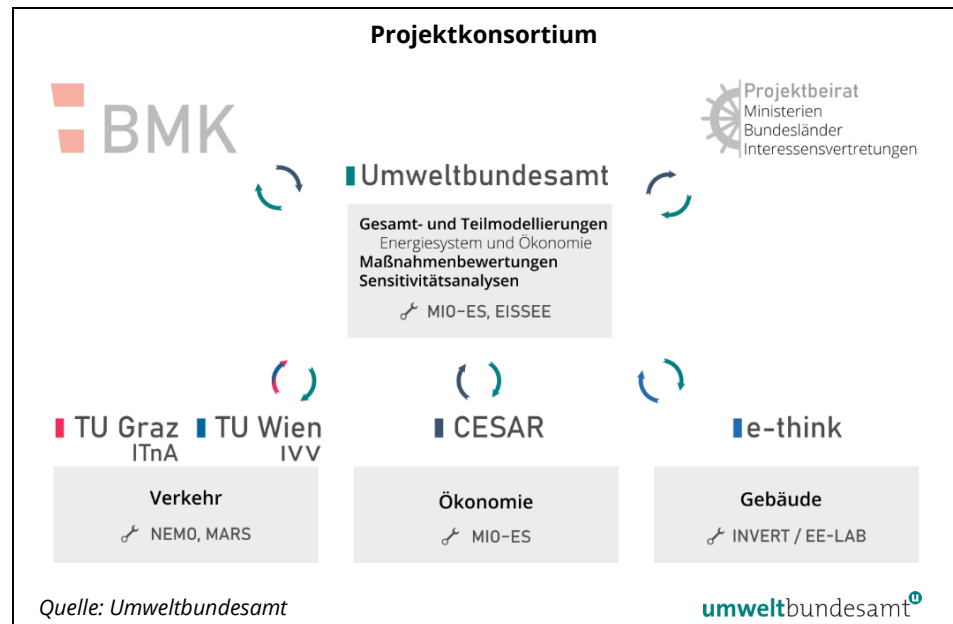
**Interaktionen
zwischen den Modellen**

Auf die Interaktion eines gesamtwirtschaftlichen Input-Output-(IO)-Modells (Hybrid zwischen CGE² und ökonomischem IO-Modell) und Sektor-Modellen zur detaillierten Abbildung von sektoralen Entwicklungen und Maßnahmen wird in diesem Projekt besonderer Wert gelegt.

Gesamtwirtschaftliche Fragestellungen und der energetische Endverbrauch mit dem MIO-ES-Modell wurden vom Umweltbundesamt gemeinsam mit CESAR bearbeitet. Der Sektor Raumwärme wurde von e-think und der Sektor Verkehr von der TU Graz/IVT in Zusammenarbeit mit der TU Wien/IVV und dem Umweltbundesamt modelliert. Der Sektor Industrie wird vom Umweltbundesamt mit Unterstützung durch CESAR berechnet. Das Umweltbundesamt sorgt für die enge Verzahnung der verschiedenen Modelle und unterstützt die modellierenden Organisationen mit Fachexpertise.

Für alle Modelle wurden dieselben internationalen Energie- und Zertifikatspreise verwendet.

Abbildung 1:
Projektkonsortium



² CGE: computable general equilibrium, IO: Input-Output.

Projektbeirat Ein Projektbeirat mit Vertreter:innen von BMK, BMF, BML, BMBWF, BMAW, BKA, und mehreren Bundesländern sowie WKO, LK, OE, EEÖ, IV, AK und ÖGB wurde eingerichtet, um Input und Feedback in die Arbeiten einfließen lassen zu können.

Die erste Sitzung des Beirats diente insbesondere zur Information der Beiratsmitglieder über den Prozess der Energieszenarien im Umfeld der klima- und energiepolitischen Rahmenbedingungen sowie über die beteiligten Organisationen und verwendeten Modelle. Weiters wurden relevante Basisdaten, wie Bevölkerung, Energie- und Zertifikatspreise, vorgestellt und diskutiert.

In der zweiten Sitzung wurde der zu diesem Zeitpunkt aktuelle Stand der Berechnungen zum Szenario Transition mit den Beiratsmitgliedern diskutiert. Das erhaltene Feedback wurde jeweils in die Berechnungen eingearbeitet.

THG-Szenarien Basierend auf den Energieszenarien und weiteren Projektionsmodellen für die Sektoren Landwirtschaft, Abfall, F-Gase, Diffuse Emissionen und Lösemittel wurde ein nationales Treibhausgasemissionsszenario bis 2050 entwickelt. In den folgenden Abschnitten werden die Hauptergebnisse des Szenario Transition erörtert.

Schlüsselannahmen Für das Szenario Transition wurden die internationalen Energiepreise aus den Empfehlungen der EU-Kommission zu den Szenarien für die Governance-Verordnung 2023 übernommen (VO (EU) 2018/1999). Die Preise für die Zertifikate des EU-Emissionshandelssystems (EU-ETS) folgen einem steigenden Verlauf bis 2050. Die CO₂-Preise des österreichischen nationalen Emissionshandelssystems (BGBL I NR. 10/2022) wurden so entwickelt, dass ab 2030 eine Angleichung mit den europäischen Handelssystempreisen erfolgt. Das Bevölkerungswachstum wurde aus der Hauptvariante der Prognose der Statistik Austria aus dem Jahr 2021 übernommen (Statistik Austria, 2021a).

Szenario Das Szenario Transition beschreibt eine mögliche Transformation des österreichischen Energiesystems zum Erreichen des Ziels der Klimaneutralität 2040. Es basiert auf Annahmen, die unter Berücksichtigung der einzelnen sektorspezifischen Gegebenheiten einen möglichen Weg zur Klimaneutralität darstellen. Die gesetzten Maßnahmen dienen zur Vermeidung von Energieverbrauch, Erhöhung der Energieeffizienz, Reduktion der Treibhausgasemissionen und Schonung der Ressourcen.

Das Szenario Transition hat weder normativen noch präskriptiven Anspruch. Es zeigt einen möglichen Weg zur weitgehenden Reduktion von fossilen Energieträgern und Treibhausgasemissionen. Die wichtigsten Annahmen bezüglich der einzelnen Sektoren sind in Kapitel 2 formuliert.

Die Werte für die Zertifikatspreise im EU-ETS orientieren sich an jenen Werten, die vom BMF 2022 im Aktivitätsszenario in der langfristigen Budgetprognose hinterlegt wurden³.

Tabelle 1: Grundlegende Parameter für die Modellierung des Szenario Transition (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

Parameter	2020	2030	2040	2050
Bevölkerung [Mio.]	8,92	9,25	9,47	9,63
Anzahl der Haushalte [Mio.]	3,98	4,21	4,38	4,50
Internationaler Ölpreis [€ ₂₀₂₀ ⁴ /BOE ⁵]	37	88	93	112
Internationaler Ölpreis [€ ₂₀₂₀ /GJ]	6,4	15,4	16,2	19,7
Internationaler Gaspreis [€ ₂₀₂₀ /GJ]	3,1	11,3	11,3	11,8
Internationaler Kohlepreis [€ ₂₀₂₀ /GJ]	1,6	3,1	3,32	3,65
CO ₂ -Preis im EU-ETS [€ ₂₀₂₀ /t CO ₂]	24	200	400	500
CO ₂ -Preis in non-ETS-Sektoren [€ ₂₀₂₀ /t CO ₂]	-	170	400	500
Wertschöpfung* [Mrd. € ₂₀₂₀]	342	411	473	531

* Der Wert für 2020 ist entnommen aus <https://www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/volkswirtschaftliche-gesamtrechnungen>, die Werte 2030, 2040, 2050 sind Modellergebnisse

³ https://www.bmf.gv.at/dam/jcr:195757e3-ed8a-41d7-90dc-541db37a8c5e/Langfristige_Budgetprognose_2022.pdf.

⁴ €₂₀₂₀: reale Werte bezogen auf das Jahr 2020.

⁵ BOE: barrel oil equivalent oder Barrel Öläquivalent (1 Barrel = 159 Liter).

2 STORYLINES FÜR SZENARIO TRANSITION

2.1 Gesellschaftliche Entwicklungen

Storylines zur Transformation

Um ein konsistentes Gesamtbild für die Jahre 2030, 2040 und 2050 darzustellen, wurden für das Szenario Transition sogenannte Storylines formuliert. Diese beschreiben gesellschaftliche, wirtschaftliche, politische, rechtliche oder institutionelle Rahmenbedingungen und Entwicklungen, welche als erforderlich angesehen werden, um eine Transformation zu unterstützen bzw. zu ermöglichen.

quantifizierbare und unterstützende Maßnahmen

Neben technischen, investiven und fiskalischen Maßnahmen sind auch „soft measures“ (unterstützende Maßnahmen, wie Qualifizierung, Bewusstseinsbildung oder Qualitätssicherung) auf gesellschaftlicher und sozialer Ebene notwendig, um Klimaneutralität zu erreichen. Während die modelltechnisch übersetzten Maßnahmen unmittelbar energie- oder klimarelevant sind (also Energieaufbringung, -nachfrage oder Treibhausgasemissionen beeinflussen), wirken sich „soft measures“ lediglich mittelbar darauf aus. Sie beschreiben die erforderlichen Rahmenbedingungen und Änderungen, die zur Zielerreichung beitragen.

Folgende Entwicklungen sind in den Storylines hinterlegt:

Biodiversität und Flächenverbrauch

Die Bewahrung der heimischen Biodiversität nimmt einen hohen Stellenwert in Gesellschaft, Politik und Gesetzgebung ein. Der Flächenverbrauch in Österreich stabilisiert sich auf einem nachhaltigen Niveau.

Bildung

Leicht zugängliche Informationen und eine entsprechende Ausrichtung des Bildungswesens sorgen für ein erhöhtes Bewusstsein und für Verhaltensänderungen. Der Zugang zu klimarelevanten Informationen wird für alle Bevölkerungsgruppen sichergestellt. Umweltinformationen werden mehr als heute in Massenmedien publiziert. Auch kontroversielle Maßnahmen zum Klimaschutz werden unterstützt und erprobt. Klimaschutz wird in Lehr- und Studienplänen sowie in der Erwachsenenbildung verankert.

Fachkräfte

Besonderer Wert wird auf gute Bedingungen für die Ausbildung von Fachkräften gelegt, die für die Energiewende unumgänglich sind. Im Transition Szenario ist hinterlegt, dass Fachkräfte in ausreichendem Ausmaß zur Verfügung stehen, um speziell die Transformation der (Energie-)Infrastruktur umsetzen zu können.

Finanzwirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Finanzindustrie investiert hauptsächlich in nachhaltige Projekte. Auf EU-Ebene wurde 2020 die Taxonomie-Verordnung beschlossen, die wirtschaftliche Aktivitäten in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit bewertet. Green Investments werden gefördert. Privates Anlagekapital in klimawirksame Investitionen wird erhöht (grüner Aktienindex, grüne Staatsanleihen). Klimawirksame Projekte bekommen aufgrund geringerer Klimarisiken günstigere Kreditbedingungen, Bürger:innenbeteiligung wird ausgebaut.

Fiskalische und soziale Rahmenbedingungen

Öffentliche Haushalte spielen eine zentrale Rolle für die Finanzierung der Energiewende. Nachhaltigkeit gehört zu den wichtigsten Entscheidungskriterien im öffentlichen Beschaffungswesen. Weitere Schritte zur Ökologisierung des

Steuer- und Abgabensystemen minimieren Ressourcenverbrauch und Emissionen. Dies beinhaltet zusätzliche Bemühungen zur Förderung von kreislaufwirtschaftlichen Prozessen, z. B. Steuerbefreiung von Reparaturen, Erleichterung von Reparaturen, Verfügbarkeit von Ersatzteilen etc. Die CO₂-Bepreisung ist zusammen mit dem Klimabonus ein aufkommensneutraler ökonomischer Anreiz, der einen klimafitten Lebensstil fördert, ohne die Kaufkraft der Haushalte zu reduzieren.

**Produktlebensdauer
und Kreislaufwirtschaft**

Im Kern zielt die Kreislaufwirtschaft (Österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie, BMK, 2021a) auf alternative ressourcen- und emissionsparende Lösungsansätze für Grundbedürfnisse ab. Wichtig dafür sind die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und Infrastruktur sowie die Wiederverwertung von Materialien und Komponenten. Experimentierräume für soziale und technologische Innovationen werden geschaffen.

**geringerer
Rohstoffverbrauch**

Der Verbrauch von Ressourcen wird in der (Öko-)Bilanz berücksichtigt, um Recycling von Edelmetallen und Metallen der Seltenen Erden auch wirtschaftlich zu ermöglichen. Recycling von Batterien erfolgt z. B. durch Urban Mining oder die Beschränkung auf Batteriemiete mit Rückgabepflicht. Dadurch werden die Ziele der Kreislaufwirtschaft zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs unterstützt.

Bei der Verwendung von Werkstoffen wird auf die Wiederverwertbarkeit Wert gelegt. Es gibt nur noch sehr wenige Verbundwerkstoffe, die nicht aufgetrennt und somit nicht wiederverwendet werden können.

**Produktdesign
und Lifecycle**

Hersteller von Produkten übernehmen vermehrt Verantwortung für Gewährleistung, Instandhaltung und Entsorgung bzw. Wiederverwertung. Geplante Obsoleszenz (Verringerung der Lebensdauer) wird durch geeignete Maßnahmen vermieden.

Das Produktdesign in modularer Weise ermöglicht ein Upgrade oder den Austausch von Komponenten, sodass nur kaputte oder nicht mehr funktionale Teile ersetzt werden. Produkte müssen repariert werden können. Dadurch steigert sich sowohl der Wert der Produkte als auch deren Lebensdauer.

Kontinuierliche technologische Weiterentwicklungen sorgen für Energieeinsparungen pro erzeugtem Stück.

Energielabels werden für alle Konsumgüter verpflichtend und berücksichtigen den gesamten Produktlebenszyklus. Die Vernichtung von neuwertigen Waren wird verboten.

globaler Klimaschutz

Infolge der globalen Übereinkunft zu den Klimazielen werden grenzüberschreitende Allianzen für den Klimaschutz gebildet und global steigende Preise für CO₂-Emissionen festgelegt.

Die Wirtschaftsakteure ergreifen die Chancen, die die Energiewende bietet, und werden ein Teil der Dekarbonisierungsinitiative. Partnerschaften zwischen den

Interessenverbänden werden geschlossen. Die Nutzung von in der Region verfügbaren erneuerbaren Energieträgern vermindert den Kapitalabfluss ins Ausland.

Just Transition

Ein wichtiger Aspekt ist die „Just Transition“. Notwendige Lebenswandeländerungen müssen für alle Einkommensgruppen leistbar sein, um die Ungleichheit nicht zu erhöhen. Verteilungsgerechtigkeit von Arbeit, Wohn- und Lebensqualität baut Spannungen im sozialen Gefüge einer Gesellschaft ab. Ein Beispiel ist die Kompensation der zusätzlichen Belastung, die durch die CO₂-Bepreisung entsteht, über den Klimabonus. Im derzeitigen Modell der Rückvergütung werden untere Einkommensgruppen tendenziell überkompensiert – diese Struktur der Rückvergütung wurde im Modell auch für die Zeit nach 2025 angenommen.

Den Benachteiligten des Transformationsprozesses wird durch Fort- und Ausbildungsmöglichkeiten der Umstieg in eine zukunftsfähige Wirtschaft erleichtert.

Digitalisierung und Regionalisierung

Homeoffice und Teleworking werden zum Standard und u. a. durch Digitalisierung ermöglicht. Dadurch gibt es auch im ländlichen Raum Jobs für Menschen mit guter Ausbildung. Durch innovative, kreative Produkte oder Nischenprodukte kann auch in ländlichen Regionen Geld verdient werden. Die Verkehrsinfrastruktur verbindet nicht nur das Land mit den Zentren, sondern vernetzt auch ländliche Regionen.

Lebensstil und Wertesystem

Die Gesellschaft ist offen gegenüber neuen Ansätzen, zum Beispiel aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), Sozialforschung, Bürger:innenbeteiligung, Organisationsentwicklung, unkonventionelle Kooperationen, intelligente Bauteile und Werkstoffe, treibhausgasbindende Baustoffe, Bionik etc.

2.2 Industrie

Betrachtung der Wertschöpfungsketten

In der Produktion kommt es zu einem vermehrten Einsatz von erneuerbaren Gasen und Brennstoffen, erneuerbarer Wärme und Strom. Bei der Auswahl der Werkstoffe für Produkte werden auch die Vorketten von Energieverbrauch und Emissionen sowie die Wiederverwertbarkeit berücksichtigt.

Weitere technologische Entwicklungen sind z. B. bei der Papier-, Auto- und Zementindustrie möglich. Prozessemissionen werden in Zukunft durch neue Werkstoffe und Verfahren verringert, z. B. wird Erdgas durch Wasserstoff, Biomethan oder Strom ersetzt.

Wechselwirkungen

Die Maßnahmen im Industriesektor stehen in engem Wechselspiel mit anderen Sektoren:

Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur haben Auswirkungen auf die Bau- und die Fahrzeugindustrie. Die Umstellung der Produktionslinien und Fertigungsstraßen für Motoren und Batterien betreffen viele Zulieferbetriebe.

In der Fahrzeugproduktion wird ein Rückgang des Energiebedarfs von 15 % durch Materialeffizienz und andere Aspekte der Kreislaufwirtschaft erzielt.

- Eisen und Stahl** Die Eisen- und Stahlerzeugung verändert sich vom klassischen Hochofenprozess hin zu Elektrostahl und Reduktionsverfahren auf Basis von Wasserstoff. Dies bedeutet eine Verschiebung von Kohle und Koks zu Wasserstoff und elektrifizierten Prozessen (Elektrolichtbogenofen). Verbessertes Metallrecycling wird u. a. durch Pfand und erweiterte Sammelsysteme erreicht, außerdem besteht eine höhere Schrottverfügbarkeit z. B. durch Vermeidung von illegalen Deponien. Legierungsbestandteile im Stahl wie Kupfer werden großteils durch andere geeignete Komponenten ersetzt, wodurch eine Verbesserung der Schrottqualität erzielt wird.
- Düngemittel** Die Ammoniakproduktion erfolgt auf Wasserstoffbasis („grüner Ammoniak“). Außerdem wird der Verbrauch von Mineraldünger (und damit auch die Düngemittelproduktion) durch Vermeidung von Lebensmittelabfällen und Nutzung von Phosphaten aus Klärschlamm verringert (In Österreich fallen jährlich Lebensmittelabfälle in Höhe von 136 kg pro Kopf⁶ an. Durch Vermeidung eines Teils dieser Lebensmittelabfälle kann eine Einsparung der Emissionen im Nahrungsmittelbereich erzielt werden.)
- Kunststoffe** Pfandsysteme und intelligentes Design führen zu erhöhter Wiederverwendung und zu verbessertem Recycling mit besseren Sammelsystemen (nahezu alle Kunststoffe sind rezyklierbar).
- Zement** Alternativen zum Portlandzement mit einem geringeren CO₂-Fußabdruck werden zum Standard in der Baubranche. Durch die Wiederverwendung von Zement aus Betonrecycling kann die Produktion von Zementklinkern verringert werden. Abrissmaterial kann wiederverwendet werden.
- Bau** Die Investitionen in die Sanierung von Gebäuden, die Wahl der Baustoffe und deren Recycling haben Auswirkungen auf die Industrie. Weiters verändert sich die Produktion durch Recycling, Materialeffizienz und andere Aspekte der Kreislaufwirtschaft. Bei nicht elektrifizierbaren Baumaschinen und -geräten findet ein Wechsel von Diesel zu erneuerbaren Kraftstoffen (wie Biodiesel, HVO etc.) statt.
- Bergbau** Durch Recycling von Baumaterialien, oder durch einen Rückgang von Flächenverbrauch, z. B. Straßen, oder durch höhere Materialeffizienz wird der Energieverbrauch im Bergbau im Szenario Transition reduziert.
- Papier** Durch Vermeidung von Papier als Datenträger (Büro, Verpackungen) und die Substitution durch digitale Lösungen sinkt die Papierproduktion. Pfand und Mehrwegverpackungen führen zur Reduktion von Kartonagen.
- Textilien** Neue Geschäftsmodelle sind im Entstehen. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft können viele Modeartikel und Textilien gemietet statt gekauft werden (Hotels, Spitäler, Altersheime etc).

⁶ Eurostat https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_pc035/default/table?lang=de

- Restemissionen** Im Szenario Transition gibt es in den Sektoren Landwirtschaft und Industrie nicht zu vermeidende Restemissionen (auch durch Abfallwirtschaft und F-Gase). Um dem Ziel der national-bilanziellen Klimaneutralität gerecht zu werden, werden natürliche oder technische CO₂-Senken in Anspruch genommen.
- CCU** Carbon Capture Utilisation (CCU) beschreibt die Wiederverwendung von abgechiedenem Kohlendioxid. Ähnlich dem CO₂-Kreislauf in der Biosphäre gibt es einen technologischen CO₂-Kreislauf, der ein klimaneutrales Wirtschaften ermöglicht. Bei CCU entstehen jedoch immer Restemissionen, da der Kreislauf nie vollständig geschlossen werden kann. Auch können mittels CCU langfristig keine negativen Emissionen erreicht werden, da das CO₂ im Produkt nach Ende der Lebensdauer wieder freigesetzt wird. Zudem ist der hohe Energieeinsatz für diese Technologieoption limitierend.
- CCS und BECCS** Carbon Capture and Storage (CCS) ist die Speicherung von CO₂ in geologischen Formationen. CCS wurde mit dem Gesetz zum Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Österreich verboten (BGBl. I Nr. 144/2011). Das Gesetz sieht alle fünf Jahre eine Evaluierung dieses Verbots vor; die nächste ist für Ende 2023 vorgesehen. Im Szenario Transition wird ein europäisches CO₂-Pipelinennetz angenommen, das die konzentrierten Emissionen von Punktquellen in geeignete Speicherstätten transportiert. Werden biogene Emissionen gespeichert, spricht man von Bioenergie mit CCS (BECCS), wodurch negative Emissionen erreicht werden können.

2.3 Verkehr

- Mobilitätsmasterplan** Im Zuge des Mobilitätsmasterplans 2030 (BMK, 2021b) wird der Sektor Verkehr neu ausgerichtet, um mobilitätsrelevante Ziele des Pariser Klimaübereinkommens ebenso wie des Regierungsprogramms 2020–2024 zu erfüllen. Der Masterplan beschreibt das zukünftige Zielsystem des Gesamtverkehrs in Österreich und zeigt auf, wie sich einzelne Verkehrs- und Mobilitätsindikatoren entwickeln müssen, um die Ziele zu erreichen. Dabei werden Entwicklungen in den Bereichen der Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und Effizienzverbesserungen bei den einzelnen Verkehrsträgern erläutert.
- Verkehrsraumplanung** Verdichtung bzw. Zuzug in dezentrale Siedlungsräume aufgrund einer umfassenden Verkehrsraumplanung sind dominierende Themen. Der aktuelle Trend zu immer längeren Wegstrecken wird gestoppt und umgekehrt. Zwar bleiben die Anzahl der Wege und die dafür aufgewendete Zeit pro Person und Tag auf heutigem Niveau, die Länge der Wege wird allerdings durch die Verdichtung kürzer, wodurch die Verkehrsleistung insgesamt sinkt.
- Dazu wird aktiver Verkehr gefördert (Rad- und Fußverkehr) und der Besetzungsgrad von Fahrzeugen wird erhöht. Dienstreisen erfolgen vermehrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder in Fahrgemeinschaften mit dem Elektroauto. Durch Videokonferenzen kann ein Großteil vollständig ersetzt werden.

Optimierung des Verkehrssystems

Begleitet werden diese Entwicklungen durch Telematik zur Optimierung des Verkehrssystems.

2.3.1 Personenverkehr**Ausbau des ÖV und Verkehrsentlastung**

Im Personenverkehr wird der öffentliche Verkehr (ÖV) vorrangig und barrierefrei ausgebaut und dadurch zum attraktivsten Modus. Das Klimaticket macht den öffentlichen Verkehr für alle leistbar. Ebenso unerlässlich sind der Ausbau und die Förderung von Elektromobilität und sonstigen emissionsfreien Antrieben für effiziente Fahrzeugtechnologien mit den notwendigen Rahmenbedingungen. Für effizientes Fahrverhalten sorgt eine österreichweite Eco-Driving-Initiative. Grundlage für diese Entwicklungen ist die Schaffung kompakter, flächensparender Siedlungsstrukturen mit funktionaler Durchmischung durch verbesserte Raumplanung, Bauordnungen und eine Parkplatzorganisation zur Förderung des ÖV sowie des Rad- und Fußverkehrs („Äquidistanz“). Durch die Stärkung des öffentlichen Verkehrs wird die Notwendigkeit von PKWs auch in ländlichen Gebieten verringert.

Entlastungen des Verkehrsaufkommens sind auch durch eine Arbeitskultur zu mehr Homeoffice und eine Anpassung der Wochenarbeitszeit möglich, wodurch PKW-Pendeln vermindert wird.

Ergänzende Maßnahmen sind Attraktivieren von Carsharing zur Reduktion des Fahrzeugbestands, Intensivierung der Parkraumbewirtschaftung, Kostenwahrheit bei den fossilen Kraftstoffpreisen, Ausdehnung der fahrleistungsabhängigen Maut jenseits des Autobahn- und Schnellstraßennetzes, verbesserte Kontrollen und Gebührensysteme und die nachhaltige Raumplanung zur Ortskernverdichtung. Gleichzeitig wird im Zuge der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie in Aussicht gestellt, dass der Ressourcenverbrauch im Straßenbau zurückgehen wird (BMK, 23. Dezember 2022).

CO₂-Ziele

Österreich wird Vorreiter bei der Erreichung der CO₂-Flottenziele. Eine Besteuerung des Ressourceneinsatzes für die Fahrzeugherstellung kann dazu beitragen, dass vorrangig kleinere und effizientere Fahrzeuge neu zugelassen werden.

Gemäß Österreichs Klimaneutralitätsziel wird die PKW-Flotte bis 2040 fast vollständig auf emissionsfreie Fahrzeuge umgestellt. Eine Flottenerneuerung kann z.B. durch Abwrackungsprämien beschleunigt werden. Es gibt noch einen Restbestand an Verbrennungskraftmaschinen (max. 5 %) mit geringer Fahrleistung (z. B. „Oldtimer“) und geringem Energieverbrauch an Biokraftstoffen. Das Szenario Transition kommt daher ohne Nutzungsverbot für Verbrennungsfahrzeuge im Jahr 2040 aus.

Neuzulassungen	<p>Aufgrund der Nutzungsdauer von Fahrzeugen sind die Neuzulassungen bereits deutlich vor 2040 zu 100 % emissionsfrei, womit das Klimaneutralitätsziel 2040 erreicht wird.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sämtliche neu zugelassenen PKW sind ab 2030 emissionsfrei. • Ab 2032: 100 % emissionsfreie Busse bei Neuzulassungen. • Ab 2035: alle Neuzulassungen zu 100 % emissionsfrei (auch schwere Nutzfahrzeuge).
ökonomische und ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen	<p>In vielen europäischen Städten sind Umweltzonen etabliert. Solche Impulse unterstützen den Transformationsprozess in der Autoindustrie und bei den Konsument:innen. Die Arbeitsplätze in der Fahrzeugfertigung wandern von fossil orientierten Wertschöpfungsketten (Hersteller, Zulieferer) zu alternativen. Universitäten und Berufsschulen übernehmen die Transformation in ihrem Ausbildungsprogramm, die reine Verbrennungskraftmaschine wird zum Nischenprodukt, neue Forschungsfelder werden eingerichtet.</p>
veränderte Verkehrsmittelwahl	<p>Ein gut ausgebautes ÖV-Netz sowie Sharing-Mobilitätssysteme führen zu einer veränderten Verkehrsmittelwahl. Der Besitz eines eigenen PKW wird aufgrund von Bewusstseinsbildung und sich ändernder Werte für die kommende Generation nicht mehr als unbedingt notwendig erachtet. Dies wird durch Raumplanungskonzepte, gute Radwegnetze und „die Stadt der kurzen Wege“ erreicht.</p> <p>In der Großstadt wird ÖV intelligent verwendet und auf die Bedürfnisse bzw. Notwendigkeiten ausgerichtet, d. h. das Verkehrssystem wird so gestaltet, dass der Weg zum Auto (z. B. in der Parkgarage) genau so weit ist wie zum nächsten öffentlichen Verkehrsmittel („Äquidistanz“). Kurze Wege werden zu Fuß oder mit dem Fahrrad erledigt.</p> <p>Für Pendler:innen werden Zonen eingerichtet (Park & Ride). Eine Intensivierung der Parkraumbewirtschaftung trägt zum Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel und/ oder aktiven Mobilität bei.</p> <p>Auch ländlichen Regionen stehen ein dichtes Radwegenetz sowie flächendeckende Taxi- und Rufbussysteme zur Verfügung. Alle Siedlungen werden an einen attraktiv getakteten hochrangigen öffentlichen Verkehr angebunden und (autonomer) Mikro-ÖV wird als Zubringer zum hochrangigen ÖV aus- und aufgebaut.</p> <p>Am Land ist die Alltagsmobilität mit höherem Aufwand verbunden als in der Stadt. Elektromobilität, Digitalisierung und Carsharing sind Möglichkeiten, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu reduzieren, ohne auf Individualverkehr verzichten zu müssen. Viele Dienstleistungen können elektronisch erledigt werden, wodurch die Anzahl der anfallenden Wege verringert wird.</p>
Effizienz	<p>Die Fahrzeugeffizienz steigt gemäß EU-Vorgaben. Der spezifische Energiebedarf von Elektroautos wird an neue technische Erkenntnisse adaptiert und sinkt von 0,24 auf unter 0,2 kWh/km.</p>
Biokraftstoffe	<p>Busse werden elektrisch oder mit Wasserstoff betrieben. Der innerstädtische Verkehr wird fast vollständig auf Strom umgestellt. Für spezielle Fahrzeuge, z. B.</p>

für die Straßeninstandhaltung, können Biokraftstoffe verwendet werden. Ein Teil der Kleingeräte (z. B. Motorsägen) wird mit Biodiesel betrieben. Auch in der Landwirtschaft wird hauptsächlich Biodiesel verwendet.

Im Jahr 2040 tragen Wasserstoff, Biodiesel und Pflanzenöl zusammen etwa 25 % des Energieverbrauchs im Verkehrssektor. Mit diesen verfügbaren Biokraftstoffmengen kann die notwendige Restenergiemenge im Straßenverkehr gedeckt werden, die nicht vermieden, elektrifiziert oder auf Wasserstoff umgestellt werden kann. Der Großteil des Verbrauchs wird mit Strom gedeckt werden (ITnA, 2023).

**Verbrauchs-
einsparungen und
Emissionsminderungen**

Tempolimits sind eine kosteneffektive Maßnahme zur Verminderung von Emissionen und klassischen Luftschadstoffen bei Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb.

Der Kraftstoffexport im Tank sinkt bis zum Jahr 2030 auf null. Dies ist durch die zunehmende Elektrifizierung ebenso begründet wie durch die Angleichung der Kraftstoffpreise als Folge der CO₂-Bepreisung, da die Kraftstoffpreise nicht mehr unter dem Niveau des benachbarten Auslands liegen.

Die Erhöhung des Besetzungsgrades der Fahrzeuge durch stärkere soziale Vernetzung beeinflusst das Mobilitätsverhalten des Individuums kaum, senkt aber den Energieverbrauch.

Die Preise für fossile Kraftstoffe sind konsistent mit den Annahmen zu den internationalen Energiepreisen und der CO₂-Bepreisung für den non-ETS-Sektor.

Ladeinfrastruktur

Eine Harmonisierung der unterschiedlichen existierenden Technologien der Ladeinfrastruktur wird vorausgesetzt.

Im Zuge der Sektorkopplung leisten elektrische Fahrzeuge einen Beitrag zur Netzstabilität, indem die Ladezeitpunkte angepasst werden und Fahrzeuge wie-der punktuell ins Netz einspeisen können (Vehicle to Grid).

**Flug- und
Schiffsverkehr**

Die Reduktion des Flugverkehrs erfolgt durch globale marktbasier- te Maßnahmen, eine deutliche Reduktion von Dienstreisen (stattdessen effiziente Nutzung von Kommunikationstechnologien) sowie durch die Verlagerung von Kurzstreckenflügen auf den Schienenfernverkehr (Hochgeschwindigkeitszüge, Nachtzüge). Die Elektrifizierung des Flug- und Schiffsverkehrs ist technologisch noch nicht absehbar. Notwendige Flüge werden mit importierten Sustainable Aviation Fuels durchgeführt.

Preise für Tickets und Luftfracht spiegeln die gesellschaftlichen Kosten für die Emission von Luftschadstoffen und deren Auswirkungen auf Atmosphäre und Natur wider.

**Ausbau des
Schienennetzes**

Um den Großteil der Personenbeförderung über mittlere Entfernungen bis zum Jahr 2050 mit der Bahn zu ermöglichen, wird die Länge der bestehenden Infrastruktur bis 2030 verdreifacht und das europäische Hochgeschwindigkeitsschiennetz bis 2050 vollendet. Der Hochgeschwindigkeitsbahnverkehr wird sich bis 2030 verdoppeln und bis 2050 verdreifachen (Europäische Kommission, 2020).

2.3.2 Güterverkehr

- Verlagerung auf die Schiene** Durch Änderungen in der Infrastrukturpolitik, Verbesserungen des Angebots und der Servicedienstleistungen der Bahn wird der Güterverkehr auf die Schiene verlagert.
- Bahninfrastruktur** Der Ausbau und die Modernisierung der Bahninfrastruktur gemäß ÖBB-Rahmenplan (BMK, 2022b) werden umgesetzt. Über längere Distanzen werden Güter verstärkt auf der Schiene transportiert, die Konnektivität von Schiene und LKW wird verstärkt. Im europäischen Kontext wird sich bis 2050 der Schienengüterverkehr verdoppeln (Europäische Kommission, 2020).
- Durch eine entsprechende neue Schienen- und Verladeinfrastruktur kann ein großer Teil der Güterverkehrsleistung auf die Schiene verlagert werden. Statt in den weiteren Neubau von Straßen wird in den Ausbau bzw. Wiederaufbau der Schienennetze investiert. Ein einheitliches europäisches Schienennetz sorgt für eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit ohne negative Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Lärmemissionen von Hochgeschwindigkeitszügen.
- Straßengüterverkehr mit neuen Technologien** Für den Straßengüterverkehr kommt ein Mix an alternativen Technologien zum Einsatz. Je nach Einsatzfeld bieten sich aus heutiger Sicht folgende Antriebsmöglichkeiten: batterieelektrisch, Wasserstoff, Oberleitung oder Induktionsfahrbahnen in Kombination mit Batterie oder Hybrid/Range-Extender.
- Bei einigen großen Elektrolyseanlagen befinden sich große Wasserstoffspeicher und Terminals für schwere Nutzfahrzeuge (SNF), wo diese mit gasförmigem Wasserstoff betankt werden. Die Reichweiten der SNF sind so dimensioniert, dass nur eine vergleichsweise geringe Anzahl standortoptimierter Betankungsanlagen notwendig ist. Dadurch wird nur wenig Wasserstoffinfrastruktur gebraucht.
- Die neuen Grundsätze bei der Güterverkehrspolitik sind in eine ökologische Steuerreform eingebettet. Eine neue Preispolitik bietet einen Wettbewerbsvorteil für Unternehmen mit optimierter Verkehrsleistung oder regionalen Wertschöpfungsketten.
- emissionsfreie Städte** Der Weg zu emissionsfreien Städten (Zero Emission Cities) führt über Logistikzentren am Stadtrand und eine CO₂-freie Stadtlogistik. An den Rändern der Ballungszentren werden größere Logistikzentren eingerichtet, wo die Güter umverteilt werden. Elektrische Klein-LKW und Lastenfahrräder übernehmen die Nahversorgung.
- emissionsfreier Schiffsverkehr** Für Schiffe werden die Treibstoffe klimafreundlicher. Elektrifizierung und Bio-treibstoffe werden bei Schiffsantrieben eine größere Rolle spielen.

2.4 Gebäude

Gebäude als Energielieferant	Gebäude verändern sich von reinen Energiekonsumenten zu Energieproduzenten. Durch installierte Solaranlagen (v. a. Photovoltaik) und Speicher ist die jährliche Energiebilanz der Gebäude positiv.
flexible Wohnformen	Voraussetzung für eine klimakompatible Entwicklung im Bereich Gebäude – und auch Mobilität – sind kompaktere Siedlungsstrukturen. Zusätzlich kommt es zur Flexibilisierung der Gebäude und der Gebäudeflächennutzung, zur Optimierung der Gebäudenutzung, zu temporären Wohnformen, verdichtetem Wohnraum, zu Anpassungen an sich verändernde Lebensumstände bis hin zu Senior:innenwohngemeinschaften und lokalen Bürogemeinschaften (urban und rural). Die bedarfsorientierte Änderung zwischen den energierelevanten Funktionen Wohnen und Arbeit wird baulich, organisatorisch und rechtlich flexibilisiert.
Raumplanung und Raumordnung	Zur Eindämmung der Zersiedelung werden Gebäude (in Kopplung mit der Wohnbauförderung) bevorzugt dort errichtet, wo sie mit öffentlichen Verkehrsmitteln gut erreicht werden können. Wohnraumverdichtung ist ein Hebel, der nicht nur die Emissionen im Gebäudesektor verringert – im Verkehr werden weniger Verkehrswege benötigt, weniger Fläche wird für Wohnraum versiegelt etc. Die örtliche und die überörtliche Raumordnung bieten langfristig ein hohes Potenzial für den Klimaschutz bei Gebäuden: eine nachhaltige Planung von Infrastruktur, eine über das Jahr energieoptimierte Ausrichtung und darauf abgestimmte Abstände von Baukörpern, ein gebäudeübergreifendes Energiemanagement mit Smart Grids, Mikrowärmenetze bzw. bidirektionale Niedertemperatur-Wärmenetze oder die verstärkte Nutzung industrieller Abwärme. Die Verdichtung von Siedlungsflächen führt zu einer höheren Zahl an mit Fernwärme beheizten Flächen. Günstige Maßnahmen sind Aufstockung, Nutzung von Baulücken, Abbruch und Wiedererrichtung.
Bauordnung	Die thermisch-energetische Qualität der Gebäude und der gebäudetechnischen Anlagen wird durch die Bauordnungen der Bundesländer bestimmt. Ab 2025 wird im Neubau das Effizienzniveau von Passivhäusern überwiegend erreicht. Ein verpflichtender Beitrag zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs durch erneuerbare Energieträger im Neubau, z. B. durch Solarthermie und PV, ist vorgesehen. Die Bodenversiegelung wird durch die Verlagerung von Raumordnungskompetenzen reduziert. Vor neuen Umwidmungen muss bereits gewidmetes Bauland mobilisiert werden. Eine Leerstandsabgabe und eine Leerstandsmeldepflicht werden eingeführt. Der Denkmalschutz für Gebäude wird klimagerecht angepasst. Die klimatische Entwicklung hat ambivalente Effekte auf den Energieverbrauch. Einerseits sinkt die Anzahl der Heizgradtage, andererseits steigt die Anzahl der Kühlgradtage.
Erneuerbare-Wärme	Die Weiterentwicklung des ordnungsrechtlichen Rahmens auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene beinhaltet im Szenario Transition das zeitnahe Verbot von

Öl- und Kohleheizungen in bestehenden Gebäuden. Weiters besteht ein Erneuerbareangebot bei zentralen Anlagen zur Wärmebereitstellung und ein Umstellungsgebot für dezentrale Anlagen, wenn das Gebäude in einem mit Fernwärme versorgten Gebiet liegt.

Dekarbonisierung Die wichtigsten Maßnahmen zur Dekarbonisierung im Gebäudesektor betreffen den Ausstieg aus Öl- und Gasheizungen. Die CO₂-Bepreisung für den Energieeinsatz von fossilen Energieträgern in Gebäuden begünstigt die Umstellung auf klimaneutrale Heizsysteme.

Ab 2040 wird kein fossiles Gas mehr in Gebäuden verwendet. In Einklang mit der Wasserstoffstrategie erfolgt in Gebäuden keine eigene Wasserstoffnutzung in größerem Umfang. In der Dekarbonisierung des Gebäudesektors sind Wärmepumpen eine wichtige Säule.

Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Gasheizungen beträgt 25 Jahre. Einzelne Geräte können aufgrund von Ausnahmen aus gesundheitlichen oder altersbedingten Gründen und mithilfe von Biomethan länger verwendet werden.

Durch Optimierung der Gebäudenutzung wird die energierelevante Konditionierung (Heizung, Kühlung, Lüftung, Befeuchtung) durch Smart Control und Gebäudeleitsysteme eng an die Zeiten der tatsächlichen Nutzung angepasst. Bei gleichzeitig höherem Komfort werden Bereitschaftsverluste durch Einsatz von modernen, IT-unterstützten Haustechniksystemen weitgehend vermieden und Synergien genutzt.

Maßnahmen im Baubereich Die Qualität der Planung ist wichtig für eine Reduktion des Energieverbrauchs, insbesondere hinsichtlich des Energie-Gesamtkonzeptes sowie der Kommunikation zwischen allen Gewerken in Hinblick auf die Qualität der Ausführung. Auch die Qualifikation der Ausführenden ist wichtig. Notwendig sind verbesserte Ausbildung und Bewusstseinsbildung für Baumeister:innen, Architekt:innen, Vertreter:innen der Baustoffindustrie, Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechniker:innen. In Zusammenarbeit mit der GeoSphere Austria (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) sind die Gebäude optimal auszurichten.

Sanierungen fördern Die Fördermittel werden vom Neubau von Einfamilienhäusern zum Neubau von Mehrfamilienhäusern sowie zur umfassenden thermisch-energetischen Sanierung bzw. Teilsanierung verlagert.

Im Neubau werden Niedrigstenergiegebäude zum Standard. In Bestandsgebäuden wird ein Energiegütesiegel in Verbindung mit einem Sanierungsgebot im Dachboden bzw. in der obersten Geschoßdecke ins Leben gerufen.

Die Förderregime für den Wohnbau werden „kundenfreundlicher“ und rascher an die gesellschaftlichen Erfordernisse angepasst. Die Fördermodalitäten, wie etwa die Verpflichtung ein Darlehen aufzunehmen und dessen Rückzahlung sowie den Betrachtungszeitraum bei Teilsanierungen betreffend, werden in allen Bundesländern deutlich flexibilisiert. Bei Bauteilsanierungen mit einem qualitätsgesicherten Gesamtkonzept wird ab 2021 ein Betrachtungszeitraum von 10 bis 15 Jahren in allen Bundesländern verwirklicht.

Ein Förderbudget für thermische Sanierung steht ausreichend zur Verfügung. Die Förderquote ist gestaffelt nach Ambitionsniveau und Haushaltseinkommen. Die Schwerpunkte liegen auf tiefer Sanierung und sozialer Abfederung im Sinne der Just Transition.

Sanierungen fördern

Auch der Mindeststandard der Gebäudekennzahlen für Sanierungen wird ab Ende 2019 für die öffentlichen und ab Ende 2021 für alle anderen Gebäude weiter abgesenkt. Standards (Normen) haben in der Vergangenheit viel bewirkt, u. a. durch Skaleneffekte (economies of scale), auch bei Gebäuden (Ökodesign).

Auf Basis der Energieausweise wird ab 2025 auch eine Mindesteffizienz für Bestandsgebäude festgelegt, um mit ausreichender Fristsetzung sukzessive die thermisch-energetisch schlechtesten Gebäude – soweit wirtschaftlich, technisch und vonseiten des Denkmalschutzes möglich – hochwertig zu sanieren.

Gebäudemaßnahmen bis 2050, in Richtung langfristiger Klimaziele, richten sich einerseits an Entscheidungsträger:innen mit dem Ziel, klimaschonende Gebäude zu forcieren und andererseits an Nutzer:innen, um den klimaschonenden Betrieb zu unterstützen:

Sanierungsnutzen verteilen

Änderungen im Mietrecht (Mietrechtsgesetz, MRG) und Wohnungseigentumsrecht (Wohnungseigentumsgesetz, WEG; Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz WGG) werden Sanierungsentscheidungen und deren Finanzierung erleichtern und damit bestehende Sanierungsbarrieren im Bereich des Altbestandes großvolumiger Wohngebäude und von Dienstleistungsgebäuden im Privateigentum reduzieren. Dabei wird verstärkt darauf geachtet, dass der Nutzen von Investitionen sowohl für Mieter:innen als auch für Eigentümer:innen erhöht wird bzw. Belastungen entsprechend dem Nutzen verteilt werden. Rechtssicherheit und Fairness bei der Kostenumlegung stehen dabei im Mittelpunkt. Das einzusetzende Spektrum der Instrumente reicht von zweckgebundenen Mietzinsrücklagen für thermisch-energetische Sanierungen und vom Heizwärmebedarf abhängigen Mietzins-Richtsätzen über vereinfachte Entscheidungsfindung im Gemeinschaftseigentum bis hin zu Warmmieten und Contracting-Standards bzw. regelt es umfassende Sanierungsdienstleistungen.

Die Qualität der Beratung und die Qualifikation aller Beteiligten (Installateur:innen etc.) sorgen für die Einhaltung von Mindesteffizienzwerten bei der Sanierung.

Die allgemeine thermische Sanierung führt zu Reduktionen im Heizwärmebedarf. Das Ambitionsniveau der Sanierung wird an die ökonomische Umsetzbarkeit der thermischen Maßnahmen angepasst („Gründerzeitgebäude“, Denkmal- und Ensembleschutz, Bauperiode bis 1944).

Wichtig ist auch der vermehrte Einsatz von effizienten Haustechniksystemen (geringe Verluste bei Wärmespeicherung bzw. -verteilung) sowie der Einsatz energieeffizienter Haushaltsgeräte.

Effizienzüberprüfung

Der Aufbau eines Systems zur freiwilligen, professionellen Überprüfung von Heizanlagen und des Energieverbrauchs als zentrales Beratungsinstrument für Gebäude sowie die gesetzlich verpflichtende, periodische Überprüfung von

Heizanlagen heben nicht nur kurzfristig deren Effizienz deutlich an und fördern langfristig die Erneuerung von Heizsystemen (Kesseltauschrate) und den Einsatz von innovativen, klimafreundlichen Heizsystemen (Nutzung von erneuerbarer Energie, Abwärme oder Mikronetze), sondern stoßen auch zusätzliche thermische Sanierungen an.

Ein duales System wird entwickelt, welches einerseits ein professionelles Dienstleistungsangebot zur freiwilligen Verbesserung der Effizienz von Heizanlagen und des Energieverbrauchs als zentrales Beratungsinstrument für alle Endverbraucher:innen fördert und andererseits eine hinsichtlich Effizienz von Heizanlagen und Gebäuden verstärkte, gesetzlich verpflichtende, periodische Überprüfung anordnet.

2.5 Energie

- Energieverbrauch sinkt** Der Energieverbrauch sinkt, sowohl durch Effizienzmaßnahmen (wie beispielsweise Umstellung von Verbrennungsprozessen auf Elektrifizierung), als auch durch ein Sinken von besonders energieverbrauchenden Aktivitäten.
- Veränderung bei Energieträgern** Strom wird der bedeutendste Energieträger in einer dekarbonisierten Wirtschaft. Der Einsatz fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Erdgas) geht bis 2040 auf null zurück. Die Nachfrage nach Erdgas sinkt kontinuierlich, im Gebäudesektor, in der Stromerzeugung und in der Industrie. Teilweise erfolgt eine Substitution durch Biogas und Wasserstoff insbesondere wo keine Elektrifizierung möglich ist.
- Erneuerbaren Ausbau Strom** Die Ziele des Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzes (EAG) umfassen die Errichtung zusätzlicher Kapazitäten erneuerbarer Energieträger (PV, Wind, Wasser, Biomasse) im Ausmaß von 27 TWh bis 2030, um 100 % des nationalen Verbrauchs mit erneuerbarem Strom zu decken. Durch das deutlich höhere Potenzial erneuerbarer Energien sowie durch technologische Potenziale zur Steigerung der Elektrifizierung ergibt sich ein höherer Ausbaubedarf von weiteren 12 TWh (4 TWh Wind und 8 TWh PV) im Szenario Transition. Bis 2040 wird der Anteil der Erneuerbaren in der Energieaufbringung weiter gesteigert, um Klimaneutralität zu ermöglichen. Dabei werden insbesondere versiegelte Flächen zur Energiegewinnung genutzt, um weitere Bodenversiegelung möglichst zu vermeiden.

- Eignungszonen für Erneuerbaren Strom** Die Bundesländer überarbeiten ihre Flächenwidmungspläne für erneuerbare Energieträger (Wind, Photovoltaik), um deren Potenziale auszuschöpfen. Eignungszonen mit beschleunigten Genehmigungsverfahren werden ausgewiesen. Genehmigungsverfahren für Windkraftwerke dauern nur noch Monate statt Jahre. Die politische Zugkraft hin zur Klimaneutralität, das hohe Umweltbewusstsein in der Bevölkerung, politisch klare Ziele und Aussagen, ein hohes Maß an Transparenz und Partizipation und neue Modelle zum Interessensausgleich (etwa Beteiligungsmodelle) steigern auch die Akzeptanz in der Umsetzung.
- CO₂-Preis** Auf europäischer Ebene spielt das Emissionshandelssystem (EU-ETS) eine zentrale Rolle für die Dekarbonisierung der Wirtschaft. Darin führt das kontinuierliche Verringern der CO₂-Zertifikate zu einer kosteneffizienten Dekarbonisierung und Erhöhung der Planungssicherheit in den betroffenen Branchen der Industrie und der Energieaufbringung. Neben dem EU-ETS gibt es in Österreich einen nationalen CO₂-Preis für fossil bedingte CO₂-Emissionen in den Sektoren Gebäude, Verkehr sowie Industrie und Energie außerhalb des EU-ETS. Ab 2027 startet das EU-ETS II, welches die zuvor national bepreisten Sektoren integriert.
- Gasnetze** Entsprechend dem ÖNIP (BMK, 2023) werden bestehende Erdgasleitungen teilweise zu Wasserstoffleitungen konvertiert bzw. wird eine Wasserstoffinfrastruktur aufgebaut. Dies ist v. a. dort machbar, wo es parallele Leitungen gibt. Bis 2040 werden fossile Brennstoffe zur Wärmebedarfsdeckung eine immer kleinere Rolle spielen. Im Jahr 2040 wird das Erdgasnetz überwiegend für erneuerbares Gas genutzt.
- Versorgungssicherheit und Importe** Erneuerbare Energieträger erhöhen die nationale Unabhängigkeit in der Energieaufbringung. Die Entwicklung und Produktion der notwendigen Technologien und Komponenten wird großteils in Europa durchgeführt.
- In Anbetracht der unterschiedlichen internationalen geographischen Potenziale hinsichtlich des Aufkommens an erneuerbaren Energieträgern ermöglichen Netze eine effektive Nutzung. Eine europäische bzw. globale Infrastruktur für den Transfer unterschiedlicher Energieträger, v. a. von grünem Strom und Wasserstoff, wird im Szenario Transition vorausgesetzt.
- Stromnetzstabilität** Die Versorgungssicherheit mit Strom wird durch Regelungen auf europäischer Ebene sichergestellt. Versorgungssicherheit kann in einem vollständig synchronisierten Verbundnetz mit funktionierenden Märkten weitaus effizienter und wettbewerbsorientierter organisiert werden als auf rein nationaler Ebene. Kurzfrist-Strommärkte ermöglichen den grenzüberschreitenden Handel und die Integration erneuerbarer Energieträger sowie neue Geschäftsmodelle für „Reservelösungen“. Flexible Ressourcen (z. B. Spitzenlastkessel) werden entsprechend entlohnt. Einkommensschwache Verbraucher:innen werden durch spezielle Regelungen geschützt.
- Energiespeicher** Energiespeicher sind ein substanzieller Teil des Energiesystems und schaffen einen Ausgleich der Variabilität der erneuerbaren Energieaufbringung. Um Erzeugungsmengen elektrischer Energie vom Sommer in den Winter zu transferieren,

können saisonale Speicher oder permanente chemische Speicher genutzt werden. Für den kurzzeitigen Ausgleich von Lastspitzen sind Kurzzeitspeicher, wie etwa Pumpspeicher oder Batterien, geeignet. Mit dezentralen Speichern und mit Nachfragesteuerung (Demand-Side-Management) kann auch ein Beitrag zur Netzstabilität geleistet werden.

Elektrochemische Speicher bis 50 MW sind bereits verfügbar, geplant sind Größen bis 100 MW. Diese Einheiten werden zur Netzstützung (Primär-, Sekundärregelung) eingesetzt, um Netzschwankungen rasch auszugleichen. Neben Power-to-Gas kann Strom auch in Wärme oder Kälte verwandelt werden. Abhängig von ausreichend hohen CO₂-Preisen kann es kosteneffizient sein, Power-to-Gas direkt in Industrieprozessen einzusetzen, die Energieträger mit einer hohen Energiedichte benötigen (Ammoniakproduktion, Eisen- und Stahlindustrie, Chemische Industrie).

Wasserstoff Wasserstoff als chemischer Speicher kann sowohl bei Lastspitzen (Ersatz von Erdgas) als auch bei Aufbringungsspitzen (Elektrolyseur als Großverbraucher) eine Rolle spielen. Power-to-Hydrogen wird auch als saisonaler Speicher eingesetzt. Parallel zum Erdgasnetz wird ein Wasserstoffnetz mit Schwerpunkt auf der Versorgung von Industriebetrieben aufgebaut. Ein Teil des Wasserstoffs kann in das Gasnetz eingespeist werden (weitere Aspekte zum Wasserstoff siehe unten).

Biogas Neben synthetischem Wasserstoff werden auch Biogas bzw. Biomethan aus biogenen Abfällen und Reststoffen eine größere Rolle spielen. Teile der bestehenden Biogaskapazitäten werden zur Biomethanaufbereitung konvertieren, um Biomethan ins Netz einzuspeisen, auch zusätzliche Kapazitäten werden aufgebaut. Für Biomethan ist im Szenario Transition ein nationales jährliches Aufkommenspotenzial von 10 TWh hinterlegt. Auf die Biogaseinspeisung wird beim Rück- und Umbau des Gasnetzes Bedacht genommen.

fossiler Abfall Auch im Jahr 2040 wird ein Teil des Abfalls noch aus fossilen Quellen stammen. Daher wird ein Teil der in Abfallverbrennungsanlagen erzeugten Menge an Strom und Wärme als fossile Erzeugung bilanziert. Darüber hinaus werden fossile Energieträger nicht mehr eingesetzt. Gas-Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit Biomethan oder Wasserstoff wird in Spitzenlastkesseln (v. a. in Winternächten) und Back-up-Anlagen eingesetzt.

nichtenergetische Nutzung Regeneratives Methan oder Biogas bzw. andere organische Produkte können auch als Basis für chemische Produkte dienen (Bioökonomie), wenn sie in entsprechender Menge verfügbar sind. Dies ist im Szenario Transition jedoch nicht als alternative Produktion von Chemikalien hinterlegt; die nichtenergetische Nutzung erfolgt weiter über die Erdölschiene.

Energiegemeinschaften Verbraucher:innen und Produzent:innen nähern sich zunehmend an (z. B. über Aktivhäuser). Die Möglichkeiten der gemeinschaftlichen Energieproduktion und Energieautarkie sind ein zusätzlicher Anreiz für Menschen, in erneuerbare Energien zu investieren. Wärmepumpen und Großwärmepumpen werden genutzt, Mikronetze für Fernwärme mit Biomasse gebaut, Abwärmepartnerschaften mit

Industrieanlagen werden geschlossen. Finanzdienstleister, Unternehmen, Gemeinden und öffentliche Verwaltung nehmen ihre Vorbildrolle wahr und nutzen Energiepotenziale.

Bürger:innenbeteiligungsmodelle sind gut geeignet, um die Bevölkerung Anteil an den erneuerbaren Energieträgern haben zu lassen. Dies ist auch zentral für die Akzeptanz. Bei Bürgerkraftwerken sollte auch bedacht werden, dass dies eine monetäre Umverteilung von einkommensschwachen zu einkommensstarken Haushalten bedeuten kann, wenn beispielsweise Kraftwerke mit Steuergeldern gefördert werden, aber nur die Teilhaber:innen von den Gewinnen profitieren. Ein steuerliches Korrektiv, das ökologische wie auch gesellschaftliche Komponenten berücksichtigt und dynamisch ausgerichtet ist, kann entsprechende Verwerfungen ausgleichen.

**intelligente digitale
Entwicklungen**

Regel- bzw. Ausgleichsenergie erfolgt mittels intelligenter digitaler Systeme, um die Integration für alle Formen der erneuerbaren Energieträger zu ermöglichen. Demand-Side-Management ist über Digitalisierung gut umsetzbar und wird zur effektiven Minderung von Lastspitzen verwendet. Neue Geschäftsmodelle sind möglich. Smart Meter sind wohl eher nur ein kleiner Teil der Lösung, der größere Teil ist über Potenziale in der Industrie zu heben. Netzbetreiber ermöglichen verlässlich die Nutzung von Echtzeitdaten für diese Anwendungen.

**Tarifstrukturen und
Dienstleistungen**

Geeignete Tarifstrukturen (bezogen auf den Energiepreis oder die Netztarife) erzielen einen Lenkungseffekt, beispielsweise über ein Anreizsystem für Endkund:innen. Die Endverbrauchergeräte sind mit einem Ampelsystem ausgestattet – grün für billigen Strom, rot für höheren Tarif.

Energieversorger werden zu Energiedienstleistern. Energie im öffentlichen Raum wird effizienter eingesetzt (z. B. bedarfsoptimierte Beleuchtungskonzepte). Gebührenrückerstattungssysteme bei weniger Verbrauch werden etabliert (z. B. Abfall).

Annahmen zu Wasserstoff und die österreichische Wasserstoffstrategie

Elektrolysekapazität

Bis 2030 soll in Österreich laut österreichischer Wasserstoffstrategie (BMK, 2022c) eine Elektrolysekapazität von 1 GW aufgebaut werden. Bei 5.000 Volllaststunden und einem Wirkungsgrad von 75 % werden in Österreich 3,75 TWh aufgebracht. Bis 2035 wird die Kapazität weiter ausgebaut. Für danach wird von der Annahme ausgegangen, dass Importe in hohem Ausmaß verfügbar sind (2030: 24 % Import, 2040: 65 % Import) sowie dass der EU Hydrogen Backbone fertiggestellt wird (EHB, 2022). Die maximale inländische Kapazität beträgt 3–4 GW.

Wasserstoffleitungen

Im Szenario Transition wird Wasserstoff bis zu einem Ausmaß von 1,78 % des energetischen Anteils ins Erdgasnetz eingespeist. Da Wasserstoff in industriellen Prozessen in Reinform benötigt wird, muss ein eigenes Wasserstoffleitungssystem aufgebaut werden. Anders als bei Erdgas ist kein flächendeckendes Netz notwendig, da hauptsächlich große industrielle Verbraucher Wasserstoff bezie-

hen werden. Internationale Märkte für den Handel von Wasserstoff werden internationale Bedarfs- und Aufbringungspotenziale ausgleichen (EHB, 2022, BMAW, 2021).

Aktuell beträgt der Bedarf an fossilem Wasserstoff in der Industrie ca. 4,6 TWh (ca. 140.000 Tonnen) und wird hauptsächlich in der Raffinerie, der chemischen Industrie (u.a. zur Ammoniak-Synthese) sowie der Metallverarbeitung eingesetzt. Dieser fossile Bedarf soll schrittweise durch erneuerbaren Wasserstoff ersetzt werden. Dazu kommt der Bedarf des Verkehrs, der allerdings deutlich geringer ist als jener der Industrie. Es ist davon auszugehen, dass die Stahlindustrie eigene Elektrolysekapazitäten aufbauen wird, um die Versorgungssicherheit mit Wasserstoff gewährleisten zu können.

**internationaler
Wasserstoffmarkt**

Internationale Märkte für erneuerbare Energieträger (EET) ermöglichen Importe. Wasserstoff wird z. B. aus der Nordsee, der Ukraine und Nordafrika importiert.

Annahmen zur Umstellung der Eisen- und Stahlproduktion

Verfahrensumstellung

Im Szenario Transition wird in der Stahlproduktion auf das Direktreduktionsverfahren mit Wasserstoff umgestellt. Die für dieses Verfahren eingesetzte Energie ist zu 90 % elektrische Energie und wird zu zwei Dritteln für die Elektrolyse zur Wasserstofferzeugung verwendet. Durch die Verfahrensumstellungen in der Eisen- und Stahlindustrie werden die Verbräuche fossiler Energieträger stark reduziert.

Aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energieträger, insbesondere der Photovoltaik, kommt es zu einer verstärkten Produktion im Sommer bei Tageslicht. Da für die Elektrolyse eine kontinuierliche Leistungsbandbreite benötigt wird, werden folgende Annahmen getroffen:

**zugrunde liegende
Annahmen**

- Es gibt ein geeignetes Geschäftsmodell zwischen Energieversorgern und Stahlproduzenten, welches Angebot und Nachfrage für Wasserstoff regelt.
- Für die Stahlproduktion stehen ausreichend dimensionierte (chemische) Tagesspeicher zur Verfügung, mit denen die Stromerzeugungsspitzen zu Mittag aufgefangen und in die Nachtstunden transferiert werden können. Diese Tagesspeicher können besonders im Winter auch zur Netzstabilität genutzt werden.

Annahmen zur Raffinerie Schwechat

Im Szenario Transition wird angenommen, dass weiterhin Erdölprodukte für nichtenergetische Zwecke, wie z. B. zur Asphaltierung von Straßen oder als Schmiermittel, genutzt werden, allerdings in geringerem Maß als 2020. Zwar wird ab 2040 in Österreich kein Benzin oder Diesel mehr getankt, aber durch die internationale Vernetzung der OMV wird davon ausgegangen, dass auch in Österreich weiterhin fossile Treibstoffe produziert werden, die exportiert werden. Mit diesen Rahmenparametern ergibt sich in der ökonomischen Modellierung im Jahresschnitt ein Rückgang auf ca. 50 % der bestehenden Kapazität. Die

Anlage in Schwechat wird ihren Fokus von der Erzeugung von Treibstoffen zu chemischen Vorprodukten verlagern.

2.6 Landwirtschaft

Lebensmittelabfälle In Österreich fallen derzeit jährlich Lebensmittelabfälle in Höhe von rund 136 kg pro Kopf an⁷. Etwa die Hälfte davon entsteht in privaten Haushalten, die andere Hälfte verteilt sich auf Produktion, Verarbeitung, Handel und Essensdienstleistungen (z. B. Restaurants).

Im Szenario Transition werden Lebensmittelabfälle in der Verarbeitung, der Herstellung und dem Handel von Lebensmitteln sowie in Haushalten und der Gastronomie stark reduziert⁸.

Die Preise für Lebensmittel werden klimafreundlich gestaltet. Importwaren aus Drittstaaten erhalten Treibhausgaszölle basierend auf dem Klimafußabdruck. Großküchen und Restaurants verwenden klimafreundliche Lebensmittel.

Erzeugung Die Berücksichtigung von Treibhausgas-Aspekten wird ein wichtiger Bestandteil der Förderungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union. Bewusstseinsänderungen in der Bevölkerung, die Umstellung auf nachhaltigere Produktionsweisen und allgemein höhere Preise treibhausgasintensiver Produkte führen zu einem Rückgang in der Viehhaltung. Dieser Rückgang wird durch die gestiegene Nachfrage nach hochwertigen pflanzlichen Produkten kompensiert; die Wertschöpfung in diesem Bereich steigt.

forcierte Kreislaufwirtschaft Die landwirtschaftliche Produktion wird noch mehr als bisher an die gegebenen Umweltbedingungen angepasst. Durch forcierte Kreislaufwirtschaft wird die Bodenfruchtbarkeit erhalten und der Einsatz von Betriebsmitteln und wertvollen Ressourcen (z. B. Wasser) vermindert.

Durch hohe Regionalität und Saisonalität der Produkte werden die Konsument:innen mit frischen und gesunden Lebensmitteln versorgt. Durch kurze Transportwege und geringere Lagerdauer können ebenfalls Emissionen eingespart werden.

Selbstversorgung mit erneuerbaren Energien in Gemeinden und bäuerlichen Betrieben wird gefördert.

natürliche Senkenleistung Die natürliche Senkenleistung in der Land- wie auch Forstwirtschaft wird deutlich ausgebaut. Die Senkenleistung landwirtschaftlicher Flächen wird über Carbon-Farming-Konzepte intensiviert und gezielt gefördert, ebenso die verstärkte

⁷ Eurostat https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_pc035/default/table?lang=de

⁸ Siehe Aktionsplan für Bioökonomie unter <http://www.bioeco.at/> bzw. die „Lebensmittel sind kostbar!“-Initiative

Bindung von Kohlenstoff im Wald über gezielte Nutzungskonzepte, Waldbewirtschaftung und Aufforstung. Zusätzlich erfolgt die gezielte Kohlenstoffbindung über verstärkte Restaurierung von besonders wertvollen Kohlenstoffspeichern, wie etwa Mooren.

Viehhaltung Die forcierte Haltung von Zweinutzungsrindern (Milch und Fleisch als Koppelprodukte) und eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Milchkühen (höhere Lebensleistung) verringern die Treibhausgas-Intensität der Tierhaltungsbetriebe bei den Rindern. Eine bestmögliche Nutzung des Grundfutters wird angestrebt, wodurch Kraftfutter eingespart werden kann. Grünlandflächen bleiben erhalten, die Weidehaltung wird forciert.

Optimierungen im Bereich der Fütterung werden weiter vorangetrieben (Stichwort „bedarfsgerechte Fütterung“). Durch stickstoffreduzierte Fütterung, Phasenfütterung (bedarfsgerechte Fütterung nach Wachstumsphasen), verbesserte Qualität des Futters etc. werden die Treibhausgase aus Verdauung und tierischen Ausscheidungen verringert.

Neben dem Tierwohl werden beim Stallbau zunehmend auch die Erfordernisse des Klimaschutzes berücksichtigt. Dies betrifft sämtliche Bereiche und Themen, wie z. B. Stall- und Entmistungssysteme, Beschattung, Kühlung, Abluftreinigung, Logistik etc.

Düngemanagement Eine möglichst vollständige Dichtheit der Wirtschaftsdünger-Lagerstätten wird sichergestellt. So verbleiben größere Mengen Stickstoff als wertvoller Nährstoff und deutlich geringere Mengen entweichen als Emission in Luft oder Wasser.

Effiziente und emissionsarme Ausbringungstechniken werden flächendeckend in Anwendung gebracht. Je nach Morphologie der landwirtschaftlichen Nutzflächen wird eine optimal angepasste Technik für die Praxis entwickelt.

Bedarfs- und standortgerechte Düngung erfolgt zum optimalen Zeitpunkt, am letzten Stand der Technik mit modernsten Methoden. Die Attraktivität von Wirtschaftsdüngern wird erhöht (z. B. durch Installation von Wirtschaftsdüngerbörsen), daher werden Mineraldünger nur angewendet, wenn kein Wirtschaftsdünger zur Verfügung steht.

Eine zunehmend erdölfreie Landwirtschaft setzt sich durch.

Die Produktion von Stickstoffdüngern aus Erdgas und erdölbasierte Bewirtschaftungsmethoden mit hohem Maschineneinsatz sorgen derzeit für ein massives Ungleichgewicht mit insgesamt schlechter Energieeffizienz (höherer Energie-Input als -Output der Produkte). Innovative Produkte und Produktionsmethoden führen zu einem erhöhten Output pro Fläche (z. B. durch Erschließung alternativer Proteinquellen, Errichtung moderner hocheffizienter Glashäuser etc.).

Für die nachhaltige Landwirtschaft nicht benötigter Wirtschaftsdünger wird gesammelt und in Biogasanlagen vergoren. Das österreichische Biogaspotenzial aus Wirtschaftsdünger wird gehoben.

***geändertes
Konsumverhalten***

Durch Anreize und (bewusstseins-)bildende Maßnahmen für eine klimafreundliche Ernährung wird weniger Fleisch konsumiert, wodurch der landwirtschaftliche Flächenverbrauch der Fleischproduktion zurückgeht. Dies geschieht u. a. durch ein höheres Bewusstsein in der Bevölkerung. Alternative Proteinquellen werden vermehrt angenommen, u. a. auch für Tiernahrung.

Durch diese gesündere und wertvollere Ernährung der Bevölkerung sinken im Gegenzug die Ausgaben im Gesundheitswesen.

Um bewusste Entscheidungen von Konsument:innen zu ermöglichen, wird schrittweise eine CO₂-Kennzeichnung für Lebensmittel etabliert.

Importiert werden vor allem hochwertige Produkte und Güter, wie Kaffee oder Bananen, die nicht in Österreich hergestellt werden können. Die Importe von Futtermitteln (z. B. Soja aus Übersee) werden reduziert.

***geänderte
Produktionsmethoden***

Technologische Entwicklungen und angepasste Methoden in der Praxis sind in sämtlichen Produktionsbereichen erforderlich (Fütterung, Stall, Lagerung, Ausbringung, Pflanzen- und Tierzucht, Bodenkultivierung etc. – siehe oben).

In Biogasanlagen wird ein signifikanter Anteil des Wirtschaftsdüngers (große Betriebe und Gemeinschaftsanlagen) einer luftdichten Lagerung zugeführt und vergoren. Erneuerbares Gas, Strom und Wärme werden produziert. Durch verstärkte Fördersysteme werden Landwirt:innen mehr Möglichkeiten zur Diversifizierung haben.

Biomethan

In Österreich ist ein Biomethanpotenzial durch Vergärung von mehr als 10 TWh jährlich vorhanden, davon ca. 7 TWh aus der Landwirtschaft, d. h. aus Wirtschaftsdünger, Stroh und Zwischenfrüchten. So verkoppelt sich die Landwirtschaft mit dem Energiesektor und hilft bisher fossile Gasanwendungen zu dekarbonisieren.

***Status Szenarien zur
Landwirtschaft***

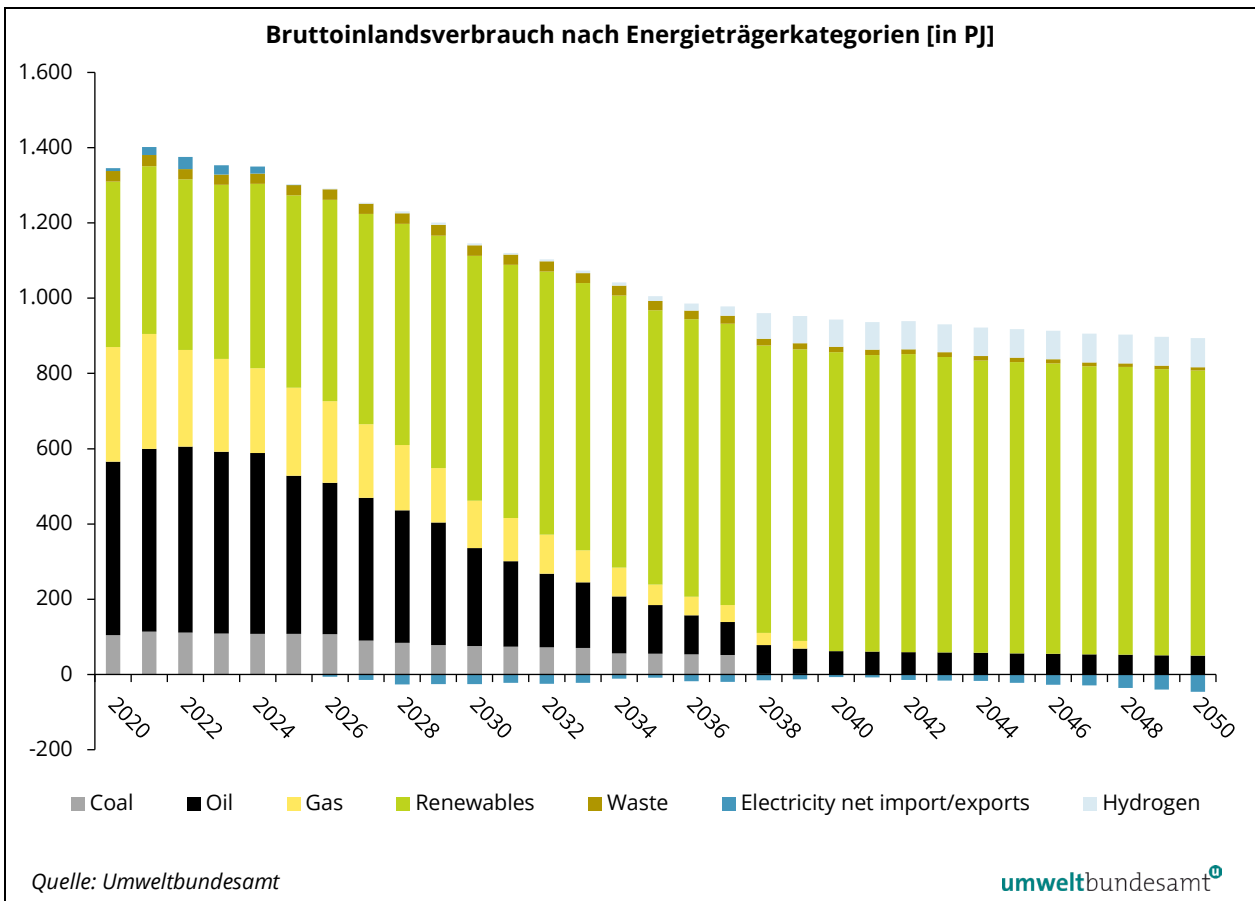
Derzeit werden im Rahmen eines separaten Projektes im Auftrag des BMK und BML in Zusammenarbeit mit WIFO, BOKU, HBLFA Raumberg-Gumpenstein und AGES neue Szenarien für den Agrarsektor erstellt. Bei den in Kapitel 5 dargestellten Ergebnissen handelt es sich um Zwischenergebnisse des Szenarios WAM++ aus diesem Projekt. Die Annahmen für den Sektor Landwirtschaft bei Biogas betragen im oben zitierten Projekt 30 % des Wirtschaftsdüngers und auf der energetischen Seite 30 % des Wirtschaftsdüngers im Jahr 2030 und 60 % des Wirtschaftsdüngers im Jahr 2040.

3 ENERGIEVERBRAUCH UND ENERGIEAUFBRINGUNG IM SZENARIO TRANSITION

3.1 Bruttoinlandsverbrauch

BIV sinkt um 30 % Der Bruttoinlandsverbrauch⁹ (BIV) sinkt von 1.346 PJ im Jahr 2020 auf 937 PJ bis 2040, d. h. um 30 %. Dies ist vor allem auf die Reduktion des energetischen Endverbrauchs von 1.053 PJ in 2020 auf 722 PJ in 2040 zurückzuführen (siehe Abbildung 2 und Tabelle 2).

Abbildung 2: Bruttoinlandsverbrauch des Szenario Transition nach Energieträgerkategorien 2020–2050.



Bei negativen Werten wird in Österreich mehr Strom erzeugt als verbraucht.

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energieträger und den Rückgang der Produktion von Fernwärme und Strom aus fossilen Quellen sinken auch die Um-

⁹ Der Bruttoinlandsverbrauch ist der gesamte Energiebedarf eines Landes. Er umfasst den Verbrauch des Sektors Energie, Netz- und Umwandlungsverluste und den energetischen Endverbrauch (EUROSTAT (2023b)).

wandlungsverluste und der Verbrauch des Sektors Energie. Der nichtenergetische Verbrauch (Bitumen für Straßen, Edukte für die Chemische Industrie) wird aufgrund der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft und der Ressourcenstrategie vermindert. Aufgrund der größeren Mengen an Strom und Fernwärme, die im Land verteilt werden müssen, steigen die Transportverluste von 24 PJ im Jahr 2020 auf 31 PJ im Jahr 2040, danach sinken sie wieder auf 28 PJ bis 2050 (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2: Bruttoinlandsverbrauch für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Umwandlungseinsatz	854	906	868	827
Umwandlungsausstoß	-779	-833	-809	-775
Nichtenergetischer Verbrauch	88	63	47	44
Transportverluste	24	29	31	28
Verbrauch des Sektors Energie	105	87	77	75
Energetischer Endverbrauch	1.053	880	722	648
BIV	1.346	1.131	937	848

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

Tabelle 3: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgerkategorien für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	105	76	0	0
Öl*	461	260	62	50
Gas	305	136	0	0
Erneuerbare (inkl. Biomasse)	439	651	794	758
Abfall	28	28	15	8
Strom	8	-25	-7	-46
Wasserstoff und e-Fuels	0	6	72	77
BIV	1.346	1.131	937	848

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

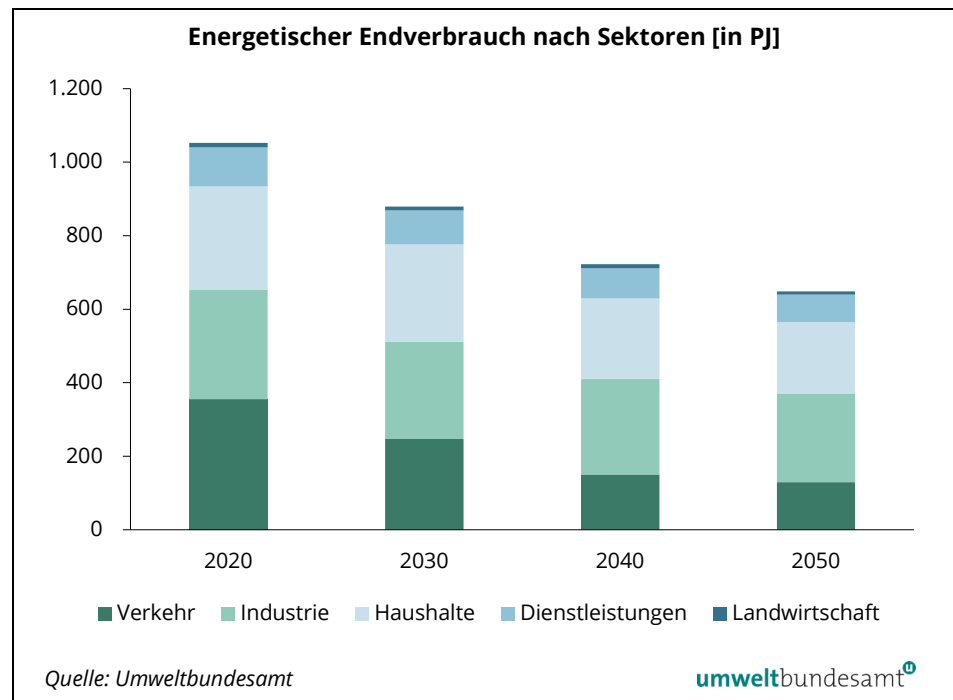
* Ölprodukte werden ab 2040 in der Raffinerie, im nichtenergetischen Verbrauch und im Flugverkehr eingesetzt.

3.2 Energetischer Endverbrauch

EEV sinkt um 30 %

Der energetische Endverbrauch¹⁰ (EEV) sinkt zwischen 2020 um 2040 um rund 30 %. Maßgeblich dafür sind die Elektrifizierung im Sektor Verkehr, die thermische Sanierung in Gebäuden, die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Sektor Industrie und Effizienzmaßnahmen in allen Sektoren.

Abbildung 3:
Energetischer Endverbrauch nach Sektoren für ausgewählte Jahre. Das Jahr 2020 basiert auf den Energiebilanzen 1970–2020.



Verkehr Im Sektor Verkehr werden sowohl der Personenkraftverkehr als auch der Güterverkehr weitgehend elektrifiziert. Aufgrund des wesentlich höheren Wirkungsgrads des Elektromotors gegenüber Verbrennungskraftmaschinen und der weiteren Maßnahmen (siehe Kapitel 5.4) sinkt allein im Verkehr der energetische Verbrauch zwischen 2020 und 2040 um 204 PJ (-58 %) und zwischen 2040 bis 2050 um weitere 22 PJ (-64 %).

Gebäude Im Sektor Gebäude (Haushalte und Dienstleistungen) führt die verpflichtende thermische Sanierung zur größten Energieeinsparung. In Synergie mit anderen Maßnahmen (siehe Kapitel 5.5) sinkt der Verbrauch von 2020 bis 2040 um 86 PJ (-22 %).

Industrie Im Sektor Industrie führt die Implementierung der Kreislaufwirtschaftsstrategie und der Ressourcenstrategie gepaart mit steigenden CO₂-Preisen zur Verbesse-

¹⁰ „Der energetische Endverbrauch ist der Gesamtenergieverbrauch der Endnutzer, wie private Haushalte, Industrie und Landwirtschaft, also die Energie, die zu den Endverbrauchern gelangt ohne die Energie, die von der Energiewirtschaft selbst verbraucht wird.“ EUROSTAT (2023a).

rung von Produktionsprozessen und zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen (siehe auch Kapitel 5.3). Dadurch sinkt der energetische Endverbrauch von 2020 bis 2040 um 40 PJ (-13 %).

Der Energiebedarf des Sektors Landwirtschaft sinkt zwischen 2020 und 2040 um 2 PJ.

*Tabelle 4:
Energetischer Endverbrauch nach Sektoren
(Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).*

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Verkehr	355	247	151	129
Industrie	299	265	260	242
Haushalte	280	264	218	194
Dienstleistungen	106	92	82	75
Landwirtschaft	12	11	11	9
EEV gesamt	1.053	880	722	648

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

** Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).*

Verschiebung der Energieträger

Der Rückgang fossiler Energieträger ist begleitet von einer starken Zunahme erneuerbarer Energieträger, insbesondere erneuerbarem Strom, Wasserstoff, Biomethan und Umgebungswärme bzw. Geothermie (siehe Abbildung 5).

Das 2030 noch verbleibende Erdgas findet überwiegend in der Industrie Anwendung. Durch den Rückgang der Nachfrage nach fossilen Treibstoffen wird einerseits ein Auslaufen der heimischen Öl- und Gasförderung ab 2034 bzw. 2039 angenommen, andererseits der Kapazitätsrückgang der Erdölraffinerie in Europa, u. a. auch in Österreich.

Abbildung 4:
Energetischer Endverbrauch nach Energieträgerkategorien für ausgewählte Jahre.

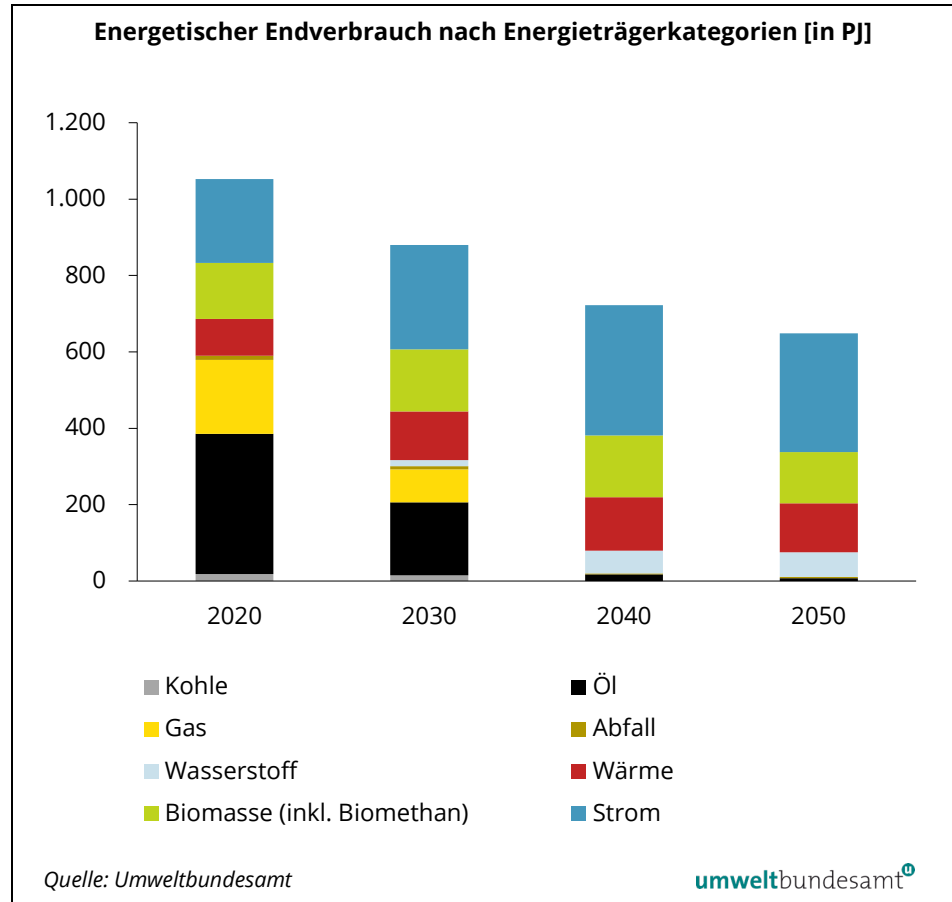


Tabelle 5: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

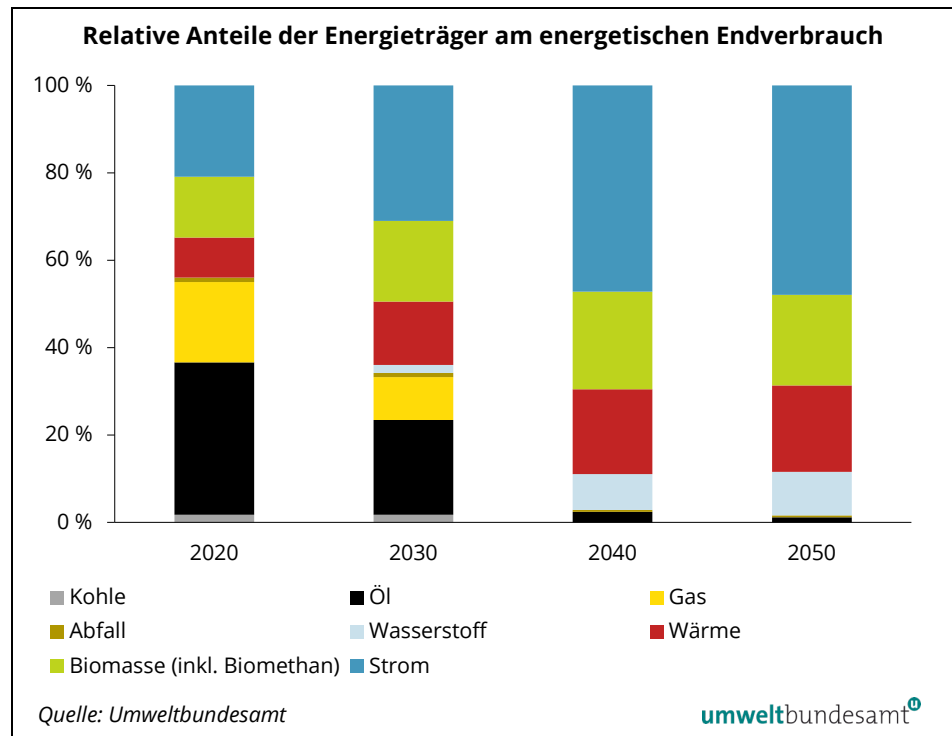
in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	18	15	0	0
Öl**	367	191	17	8
Erdgas	194	87	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	146	162	162	134
Abfall	11	8	3	3
Wasserstoff	0	16	59	65
Wärme	96	128	140	128
Strom	220	273	341	311
EEV gesamt	1.053	880	722	648

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

** Ölprodukte werden ab 2040 im Flugverkehr eingesetzt.

Abbildung 5:
Relative Anteile der Energieträger am energetischen Endverbrauch für ausgewählte Jahre.



Offroad-Verkehr

Der Offroad-Verkehr der Sektoren Industrie, Gebäude und Landwirtschaft wird, so wie der Sektor Verkehr, von den Modellen der TU Graz abgebildet. Daher wird dieser Energieverbrauch auch beim Sektor Verkehr angegeben, um Gesamtergebnisse für alle mobilen Anwendungen darzustellen. Zum besseren Vergleich mit den Energiebilanzen werden bei den Ergebnissen der Sektoren aber auch die jeweiligen Energieeinsätze für den Offroad-Bereich inkludiert.

Tabelle 6:
Umschlüsselung des energetischen Endverbrauchs des Bereiches Offroad von Verkehr zu anderen Sektoren (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

	Energiebilanz		Szenario Transition			
	mit Offroad-Verschiebung	ohne Offroad-Verschiebung	2020	2030	2040	2050
in PJ	2020	2020	2020	2030	2040	2050
Verkehr	355	336	213	124	108	
Industrie	299	307	286	276	254	
Gebäude	386	388	358	302	269	
Landwirtschaft	12	22	23	21	17	
EEV gesamt	1.053	1.053	880	722	648	

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

3.2.1 Endverbrauch Verkehr

Im Szenario Transition sinkt der energetische Endverbrauch im Verkehr zwischen 2020 und 2030 um 108 PJ und bis 2040 um weitere 96 PJ.

Personenverkehr Die Anzahl der Personenkilometer in Österreich steigt zwischen 2020 und 2040 von 95 Mrd. km auf 120 Mrd. km (Anstieg um 26 %) bei gleichzeitiger Verlagerung auf öffentlichen und aktiven Verkehr. Die absolute Fahrleistung von PKWs im Jahr 2040 liegt mit 63 Mrd. km 6 % unter der Fahrleistung von 2020 von 68 Mrd. km. Die PKW-Flotte wird fast vollständig elektrifiziert. Restmengen an Verbrennungskraftmaschinen mit geringer Jahresleistung werden mit Biotreibstoffen betrieben.

Güterverkehr Trotz Anstieg des Rohölpreises und geänderter Lebensstile kommt es zu einem weiterhin steigenden Trend der Güterverkehrsleistung. Diese ist im Jahr 2040 mit 96 Mrd. Tonnenkilometern um 20 % höher als im Basisjahr 2020 (80 Mrd. Tonnenkilometer) und bleibt bis 2050 auf diesem Niveau (ITnA, 2023). Der Zuwachs der Tonnenkilometer wird durch den Zuwachs der Schienenkilometer überkompensiert, sodass die Menge der Straßenkilometer nach 2030 sinkt. Der Offroad-Verkehr, Busse, leichte und schwere Nutzfahrzeuge werden auf alternative Antriebe umgestellt (Strom, Wasserstoff, Biokraftstoffe). E-Fuels werden ausschließlich im internationalen Flugverkehr eingesetzt. Alle Verdichterstationen werden auf elektrische Antriebe umgestellt.

Kraftstoffexport Der Kraftstoffexport im Tank verschwindet im Jahr 2030. Dies ist durch die zunehmende Elektrifizierung begründet, ebenso wie durch die steigenden Kraftstoffpreise als Folge der CO₂-Bepreisung, da die Kraftstoffpreise nicht mehr unter dem Niveau des benachbarten Auslands liegen.

Tabelle 7: Energetischer Endverbrauch im Verkehr für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	0	0	0	0
Öl	317	172	17	7
Gas	9	7	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	18	18	28	13
Wasserstoff und E-Fuels	0	4	17	26
Strom	11	46	90	83
Wärme	0	0	0	0
EEV Verkehr	355	247	151	129

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

3.2.2 Endverbrauch Industrie

Energieverbrauch sinkt

Im energetischen Endverbrauch des Szenarios Transition weist der Sektor Industrie trotz steigender Wertschöpfung aufgrund der Annahmen zur Produktverwendung, der Maßnahmen zur Produktionsumstellung sowie der Steigerung der Effizienz bis 2040 einen Rückgang des Energieverbrauchs um 57 PJ (-13 %) gegenüber 2020 auf.

Energieträger-verschiebung

Neben dem Rückgang des Verbrauchs bewirken die Maßnahmen auch eine Verschiebung der Energieträger. Fossile Energieträger werden bis auf Restmengen von Abfall (3 PJ) durch erneuerbare Energieträger ersetzt.

Während sich der Verbrauch von Wärme kaum verändert, steigen die Einsatzmengen von Biomasse (+11 PJ), Strom (+34 PJ) und erneuerbarem Wasserstoff (39 PJ).

Abbildung 6:
Energetischer Endverbrauch der Industrie nach Energieträgerkategorien für ausgewählte Jahre.

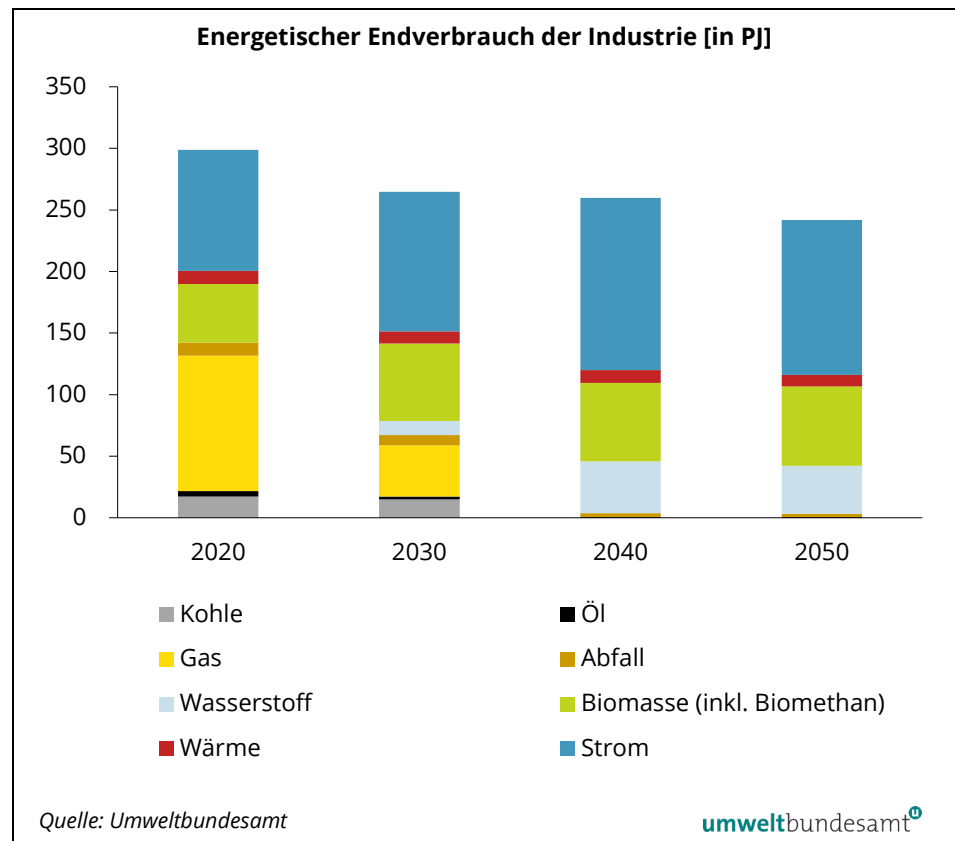


Tabelle 8: Energetischer Endverbrauch der Industrie für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	17	15	0	0
Öl	4	2	1	0
Gas	110	42	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	48	63	64	64
Abfall	11	8	3	3
Wasserstoff	0	11	42	39
Strom	98	113	140	126
Wärme	11	10	10	10
EEV Industrie	299	265	260	242

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

Tabelle 9: Energetischer Endverbrauch ausgewählter Industriebranchen für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Eisen- und Stahlerzeugung und Nichteisenmetalle	45	43	33	30
Chemische Industrie	45	46	48	42
Steine und Erden, Glas	39	25	17	20
Papier und Druck	71	64	69	68
Holzverarbeitung	24	23	22	23

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

Branchenbetrachtung

Das Szenario Transition zeigt zwischen 2020 und 2040 die stärksten Verbrauchsminderungen in der Branche Steine, Erden und Glas sowie in der Eisen- und Stahlindustrie und der Nichteisenmetallindustrie. Dagegen weisen die Chemische Industrie, Papier und Druck sowie die Holzverarbeitung keine großen Veränderungen im Energieverbrauch auf.

3.2.3 Endverbrauch Gebäude

Im Szenario Transition sinkt der Endverbrauch in Gebäuden (siehe Tabelle 10 und Abbildung 7) zwischen 2020 und 2030 um 29 PJ und bis 2040 um 85 PJ. Bei den Energieträgern werden die fossilen bis 2040 vollständig durch erneuerbare ersetzt.

Der Stromverbrauch bleibt in Summe bis 2040 in etwa konstant, weil sich der Einsatz von Wärmepumpen mit deren geringerem Endverbrauch kompensiert. Durch Umstellung von Öl- und Gasheizungen auf Fern- und Umgebungswärme steigt deren Verbrauch bis 2040 um 44 PJ.

In Haushalten (siehe Tabelle 11) sinkt der Verbrauch von 2020 bis 2030 um 16 PJ und bis 2040 um weitere 46 PJ. Neben der verpflichtenden thermischen Sanierung sind hierfür auch effizientere Geräte und Verhaltensänderungen verantwortlich.

Der energetische Endverbrauch des Dienstleistungssektors (siehe Tabelle 12) sinkt von 2020 bis 2030 um 14 PJ und zwischen 2030 bis 2040 um weiter 9 PJ auf 83 PJ.

Abbildung 7:
Energetischer Endverbrauch für den Sektor Gebäude für ausgewählte Jahre.

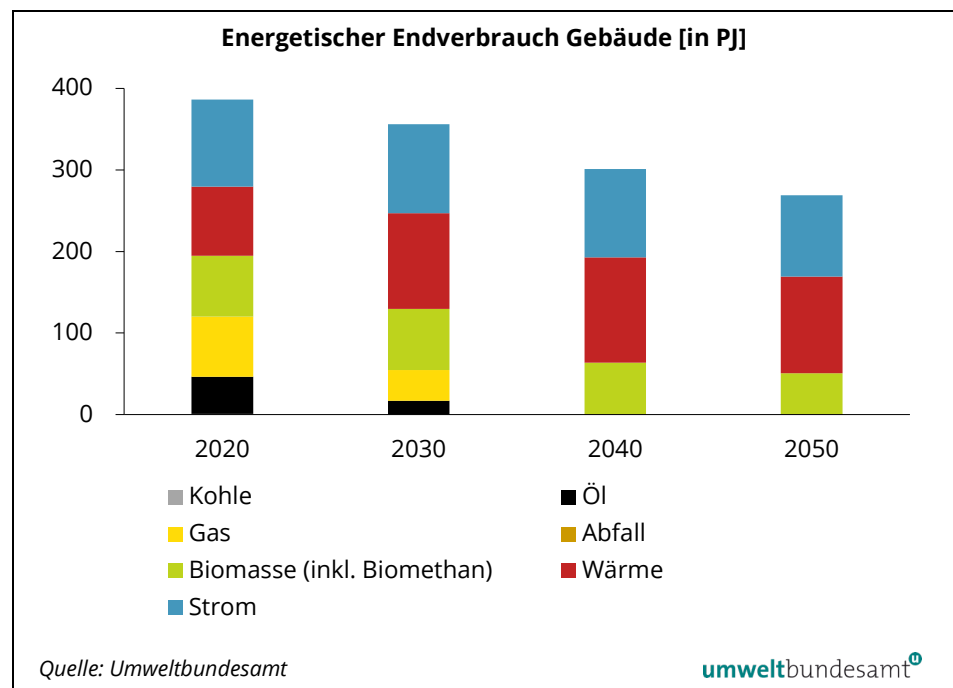


Tabelle 10: Energetischer Endverbrauch von Gebäuden für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	1	0	0	0
Öl	46	17	0	0
Gas	74	38	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	74	75	63	51
Abfall	0	0	0	0
Strom	107	109	108	99
Wärme	85	117	129	118
EEV Gebäude	386	357	301	269

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

Tabelle 11: Energetischer Endverbrauch der Haushalte für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	1	0	0	0
Öl	39	14	0	0
Gas	59	30	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	71	69	58	46
Abfall	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0
Strom	65	69	63	56
Wärme	45	82	98	93
EEV Haushalte	280	264	218	194

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

Tabelle 12: Energetischer Endverbrauch von Dienstleistungen für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	0	0	0	0
Öl	6	3	0	0
Gas	14	8	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	4	6	6	5
Abfall	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0
Strom	42	40	45	44
Wärm	40	35	32	26
EEV Dienstleistungen	106	92	83	75

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

3.2.4 Endverbrauch Landwirtschaft

In der Landwirtschaft nimmt der energetische Endverbrauch von 2020 bis 2030 um 1,4 PJ ab und bleibt dann konstant bis 2040.

Die mobilen Geräte der Landwirtschaft (offroad) werden in den Modellen der TU Graz berechnet, daher ist dieser Verbrauch im Sektor Verkehr inkludiert.

Tabelle 13: Energetischer Endverbrauch der Landwirtschaft für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	0	0	0	0
Öl	0	0	0	0
Gas	1	0	0	0
Biomasse (inkl. Biomethan)	6	6	7	6
Abfall	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0
Strom	4	4	4	3
Wärme	1	0	0	0
EEV Landwirtschaft	12	11	11	9

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

3.3 Eisen- und Stahlindustrie

EISSE-Modell Ergänzend zum ökonometrischen Modell MIO-ES wurden Energiebedarf und Treibhausgasemissionen des Subsektors Eisen- und Stahlherstellung anhand eines vom Umweltbundesamt entwickelten kostenbasierten Technologiemo­dells (EISSEE) berechnet. Zur Funktionsweise und zu den Annahmen dieses Modells wird auf Anhang 1 verwiesen. Detaillier­ergebnisse sind in Anhang 3 angeführt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Stahlproduktion wie auch andere relevante Subsektoren effektiv vor dem Risiko der Verlagerung von CO₂-Emissionen (Carbon Leakage) geschützt sind.

Im Szenario Transition geht die Produktion wegen verbesserten Recyclings und langlebiger Produkte bis zum Jahr 2040 auf 7,0 Mio. Tonnen Rohstahl zurück.

**Umstellung
Herstellungsverfahren** Aufgrund der Kostenstruktur (siehe Abbildung 8) wird im Szenario Transition bei der Primärproduktion, d. h. bei der Erzeugung aus Eisenerzen, eine Umstellung der Erzeugungsstruktur vorausgesetzt. Der Hochofenprozess wird langfristig durch ein Reduktionsverfahren auf Basis Wasserstoff¹¹ (Schmelzreduktion) ersetzt. Aufgrund der Preisentwicklungen und weiterer Rahmenbedingungen, die im Szenario Transition hinterlegt werden, ist diese Umstellung ab etwa 2035 gegenüber dem bestehenden Hochofenprozess wirtschaftlich darstellbar. Ausgelöst wird die Umstellung der Produktionsstruktur durch den CO₂-Preis und das Förderprogramm zur Transformation der Industrie. Das temporär günstigere Direktreduktionsverfahren auf Basis Erdgas spielt bei dieser Umstellung keine Rolle, insbesondere da dieser Kostenvorteil nur kurzfristig besteht.

Bereits in den kommenden Jahren stellt sich die Elektroofen-Route als günstigste Produktionsroute dar; darüber hinaus ist davon auszugehen, dass mittel- und längerfristig durch die Initiativen der EU zur Kreislaufwirtschaft mehr Schrott in entsprechenden Qualitäten zur Verfügung stehen wird. Es wird damit vorausgesetzt, dass die Erzeugung von Stahl mit dem Elektrostahlverfahren (Sekundärproduktion) bis 2030 schrittweise ausgeweitet wird und dieses die Hochofenroute teilweise ersetzt. Damit kommt es zu einer Erhöhung des Schrotteinsatzes von derzeit etwa 30 % ab dem Jahr 2030 auf etwa 50 % (bezogen auf für die Stahlherstellung eingesetzte Eisenträger).

¹¹ Der Wasserstoffverbrauch für die Direktreduktion in der Eisen- und Stahlindustrie wird im Verbrauch des Sektors Energie bilanziert (ähnlich dem Verbrauch von Kohle in der Kokerei und Koks im Hochofen).

Abbildung 8:
Vergleich der spezifischen Kosten der verschiedenen Erzeugungsrouten der Stahlherstellung (Berechnung: Umweltbundesamt).

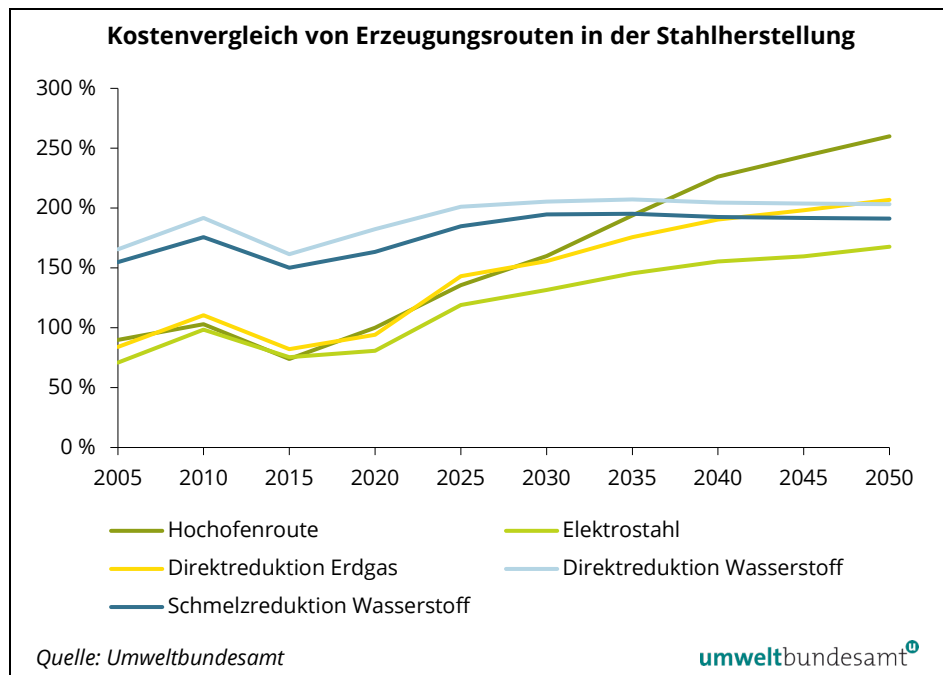


Tabelle 14: Energiebedarf der Eisen- und Stahlindustrie für ausgewählte Jahre im Szenario Transition*** (Quelle: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in TJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Energetischer Endverbrauch	37.175	34.136	25.276	23.228
Kohle (inkl. Restgase)	10.734	8.943	-	-
Gas	16.753	13.396	-	-
Strom	9.278	10.048	14.511	13.289
Wasserstoff**		1.330	10.302	9.497
Andere	410	419	463	442
Verbrauch Sektor Energie	67.508	54.722	47.850	45.590
Kohle (inkl. Restgase)	59.500	43.748	-	-
Öl	565			
Gas	1.418	917	499	527
Strom	4.255	8.257	13.73	12.715
Wasserstoff**	0	122	33.378	32.348
Andere	1.770	1.678	-	-
Umwandlungseinsatz	100.671	81.188	4.358	4.284
Umwandlungsausstoß***	88.068	74.097	3.922	3.856
Transportverluste	485	476	-	-

* Daten auf ganze Zahlen gerundet.

** Die Wasserstoffherstellung wird hier nicht berücksichtigt.

*** Der Umwandlungsausstoß wird bei der Berechnung des Gesamtenergiebedarfs abgezogen.

3.4 Elektrische Energie

3.4.1 Strombedarf Sektoren

Der Gesamtstromverbrauch steigt im Szenario Transition vor allem durch die Elektrifizierung des Verkehrs, der industriellen Prozesse, der Wasserstoffelektrolyse und einer zunehmenden Anzahl von Wärmepumpen. Dadurch steigen auch die Transportverluste.

Strombedarf steigt fast überall

Im Szenario Transition steigt der energetische Endverbrauch im Sektor Verkehr durch den Ausbau der Elektromobilität im Personen- und Güterverkehr bis 2040 um 79 PJ gegenüber 2020. Der Stromverbrauch von Haushalten und Dienstleistungen steigt bis 2040 aufgrund von Umstiegen im Heizungssystem leicht an. Der Strombedarf der Industrie steigt durch die Elektrifizierung von Prozessen bis 2030 um 15 PJ und bis 2040 um 42 PJ. Der Bedarf der Landwirtschaft bleibt konstant.

Ab 2025 wird im Sektor Verkehr (und später in der Industrie) auch Wasserstoff als Energieträger eingesetzt. Dieser wird durch Elektrolyseanlagen aus Strom erzeugt. Die elektrische Energie wird daher als Umwandlungseinsatz bilanziert, Wasserstoff als Umwandlungsausstoß. Dieser Umwandlungseinsatz (57 PJ im Jahr 2040) macht im Szenario Transition einen signifikanten Teil des großen Anstiegs des Gesamtstrombedarfs von 193 PJ (2040 gegenüber 2020) aus.

Tabelle 15: Strombedarf der Sektoren Verkehr, Industrie, Gebäude und Landwirtschaft, der Verbrauch des Sektors Energie und Transportverluste für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Verkehr	11	46	90	83
Gebäude	107	109	108	99
Landwirtschaft	4	4	4	3
Industrie	98	113	140	126
Verbrauch des Sektors Energie	25	28	34	34
Transportverluste	11	16	19	18
Umwandlungseinsatz	-	18	57	54
Strombedarf gesamt	257	334	450	416

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

* Energiebilanz mit Offroad-Verschiebung (siehe Tabelle 6).

3.4.2 Stromerzeugung

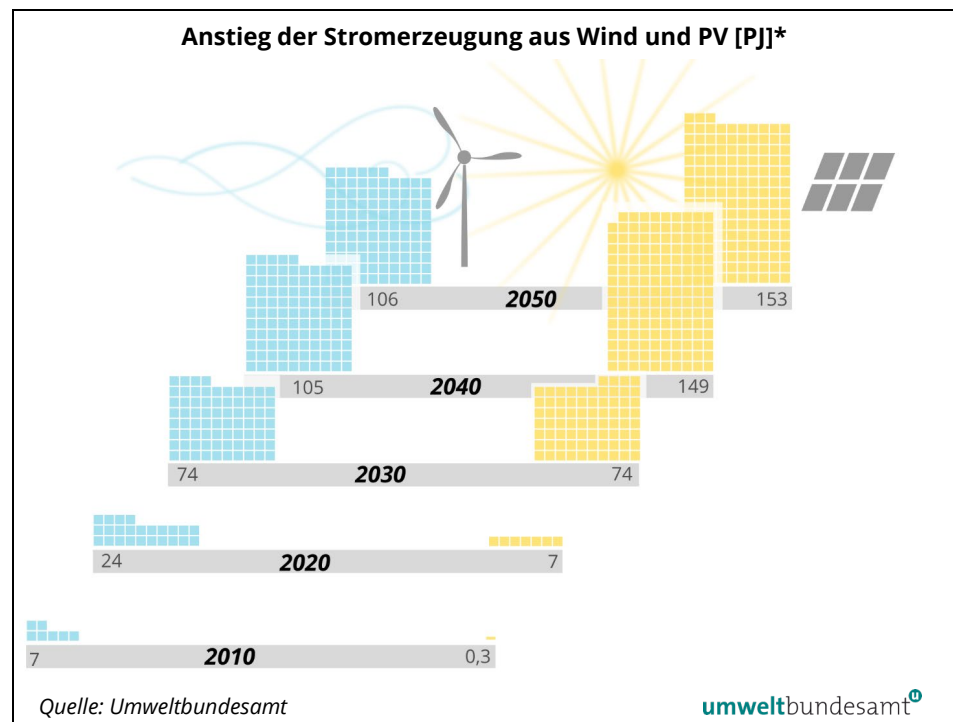
Die Ziele des EAG (BGBl. I Nr. 150/2021) sind es die erneuerbare Stromproduktion in Österreich bis zum Jahr 2030 um +18 PJ (5 TWh) Wasserkraft, +4 PJ (1 TWh) Biomasse, +40 PJ (11 TWh) Photovoltaik und +36 PJ (10 TWh) Windkraft

auszubauen. Im Szenario Transition werden diese Ziele umgesetzt und zusätzlich um +29 PJ Strom aus Photovoltaik und +14 PJ aus Windkraft übertroffen. Dieser Ausbau erfordert eine ganze Reihe von Maßnahmen, wie zum Beispiel die Ausweisung von Eignungszonen und den Netzausbau.

Bei Biomasse wird angenommen, dass deren Verfügbarkeit für energetische Nutzungen u. a. durch die Ziele im Sektor LULUCF begrenzt ist. Die Erzeugung aus fossilen Energieträgern geht stark zurück. Im Jahr 2040 erzeugen nur noch Abfallverbrennungsanlagen und die Anlagen der Raffinerie Schwechat Strom aus fossilen Quellen. Im Szenario Transition geht die Stromerzeugung von Unternehmen mit Eigenanlagen durch die Umstellung der Eisen- und Stahlindustrie auf Wasserstoffverfahren, die geringere Produktion der Raffinerie und den Ausstieg aus fossilen Energieträgern bis 2050 um mehr als 50 % zurück. Die fossile Abfallverbrennung in Österreich geht aufgrund der angenommenen Entwicklung zu einer Kreislaufwirtschaft bis 2050 um 50 % zurück.

Der zusätzliche Strombedarf wird vor allem durch den Ausbau von Wind und Photovoltaik gedeckt. Abbildung 9 veranschaulicht, wie sich die Stromerzeugung durch Wind und PV vervielfachen wird.

Abbildung 9:
Anstieg der jährlichen
Stromerzeugung aus
Wind und PV für ausge-
wählte Jahre.



* Ein Quadrat entspricht einem Petajoule erzeugter elektrischer Energie.

In geringerem Maß werden auch Wasserkraft und Biomasse (fest und gasförmig) ausgebaut (siehe Tabelle 16).

Der im Szenario angenommene Ausbau von Wind und Photovoltaik ist im Einklang mit den in der Literatur angegebenen Potenzialen und mit flächenbasier-

ten Potenzialabschätzungen des Umweltbundesamtes für den Nationalen Infrastrukturplan (Umweltbundesamt, 2023b). Da der Biomassebedarf im Sektor Gebäude stark zurückgeht, steht diese Biomasse für die Strom- und Wärmeerzeugung zur Verfügung. Im Sektor Landwirtschaft stehen die Substrate für Biogas in Form von Gülle (Vermeidung von Methan-Emissionen durch Güllebehandlung), Stroh, Zwischenfrüchten etc. zur Verfügung. Auch die Roadmap Geothermie (BMK, 2022a) wurde in der Modellrechnung berücksichtigt. Zur Stabilisierung der Netze sind kurzfristige und langfristige Speicher notwendig. Es wird auch angenommen, dass Netzbetreiber eigene Elektrolyseanlagen betreiben und in eigenen Anlagen Wasserstoff wiederverstromen.

Stromexporte Durch den starken Ausbau von Wind und PV wird Österreich ab 2030 zum Nettostromexporteur.

Abbildung 10:
Stromerzeugung nach
Energieträgern für aus-
gewählte Jahre.

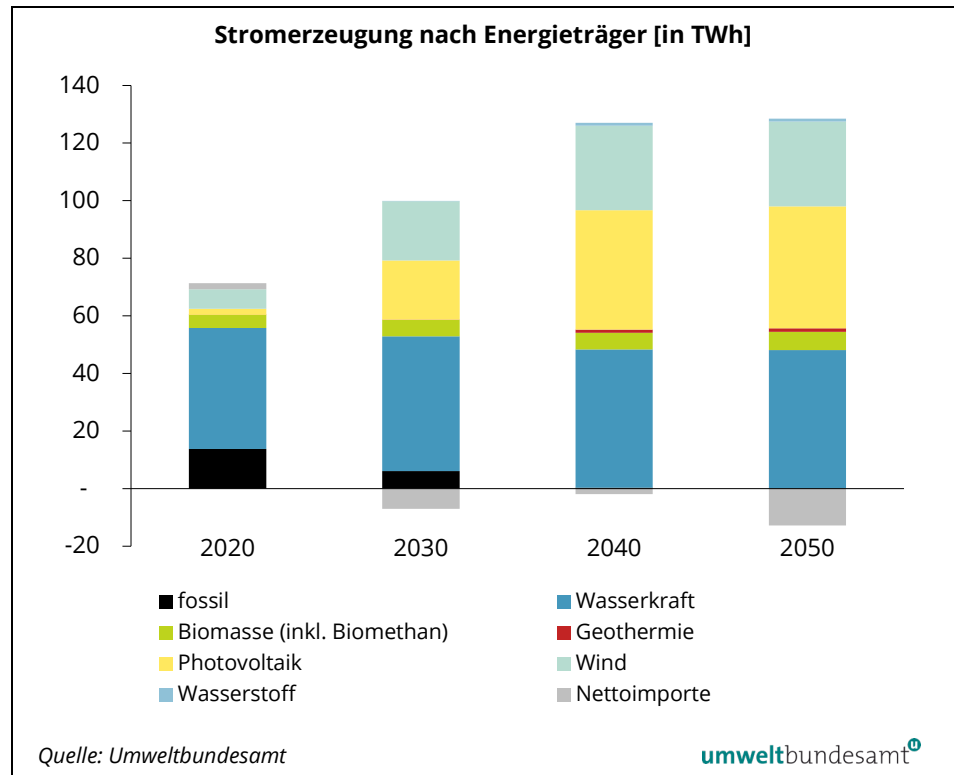


Tabelle 16: Stromerzeugung nach Energieträgern für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

	Energiebilanz		Szenario Transition					
	2020		2030		2040		2050	
	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]	[PJ]	[TWh]
fossil	50	14	22	6	1	0	1	0
Wasserkraft	151	42	169	47	173	48	173	48
Biomasse (inkl. Biomethan)	17	5	20	6	21	6	23	6
Geothermie	0	0	0,3	0,1	4	1	4	1
Photovoltaik	7	2	74	21	149	41	153	42
Wind	24	7	74	21	105	29	106	29,5
Wasserstoff	-	-	0,4	0,1	4	1	4	1
Stromerzeugung gesamt	249	69	360	100	457	127	463	128
Netto-Importe	8	2	-25	-7	-7	-2	-46	-13,5

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

3.4.3 Fernwärmebedarf

Die Fernwärmenachfrage steigt im Szenario Transition bis 2030 und sinkt dann aufgrund der thermischen Sanierung kontinuierlich bis 2050. Der Rückgang findet vor allem in Haushalten und Dienstleistungen statt. Durch die geringere Nachfrage sinken auch die Transportverluste, der Gesamtbedarf sinkt bis 2050 auf das Niveau des Jahres 2020.

Tabelle 17: Fernwärmebedarf für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Gebäude	61	82	78	64
Landwirtschaft	0	0	0	0
Industrie	10	9	10	9
Transportverluste	12	13	12	10
Fernwärmebedarf	84	104	101	84

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

3.4.4 Fernwärmeerzeugung

Die Fernwärmeerzeugung aus fossilen Quellen geht bis 2040 nahezu auf null zurück. Nur Abfallverbrennungsanlagen und die Anlagen der Raffinerie Schwechat erzeugen ab dann noch Energie aus fossilen Energieträgern. Dagegen steigt die Erzeugung aus Biomasse bis zum Jahr 2040. Die Umsetzung der

Roadmap Geothermie bedingt den Anstieg der erzeugten Fernwärme im Aggregat „Umgebungswärme etc.“. Die Erzeugung aus Wasserstoff ist als Nebenprodukt zur Wiederverstromung zu sehen.

Tabelle 18: Fernwärmeerzeugung für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Kohle	3	2	0	0
Öl	3	3	0,4	0,4
Erdgas	29	14	0	0
Abfall	6	7	2	1
Biomasse (inkl. Biomethan)	43	57	57	43
Umgebungswärme etc.¹²	1	21	36	35
Wasserstoff	0	0,1	5	5
Fernwärmeerzeugung	84	104	101	84

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

3.5 Nichtenergetischer Verbrauch, Transportverluste, Verbrauch des Sektors Energie

3.5.1 Nichtenergetischer Verbrauch

Den größten Anteil am nichtenergetischen Verbrauch nehmen im Jahr 2020 Erdölprodukte ein, die vorwiegend zur Asphaltierung von Straßen und ähnlichem eingesetzt werden. Aufgrund der getroffenen Annahmen zur Umsetzung der Kreislaufwirtschafts- und der Bodenstrategie wird davon ausgegangen, dass dieser Bedarf bis 2040 deutlich geringer wird.

Im Jahr 2020 wird Erdgas als Ausgangsprodukt für die Chemische Industrie (z. B. Ammoniak und Düngemittel) verwendet. Hier wird angenommen, dass diese sukzessive auf Wasserstoff umgestellt wird. Biomethan wird bis zur kompletten Umstellung auf erneuerbare Gase im Erdgasnetz beigemischt.

Die Transportverluste für Kohle und Koks wurden aus dem Modell für die Eisen- und Stahlerzeugung übernommen.

¹² Umgebungswärme etc. besteht hier vollständig aus Geothermie.

Tabelle 19: Nichtenergetischer Verbrauch nach Energieträgern für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Erdgas	14	8	0	0
Ölprodukte	73	51	36	34
Wasserstoff	0	2	11	10
Andere	1	2	0	0
Nichtenergetischer Verbrauch	88	63	47	44

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können Rundungsdifferenzen entstehen.

3.5.2 Transportverluste

Für die Transportverluste von Strom wird der langjährige Durchschnitt von 5,3 % des Endverbrauchs fortgeschrieben.

Für die Transportverluste bei Fernwärme wurde der langjährige Durchschnitt von 14,8 % des Endverbrauchs fortgeschrieben.

Die Transportverluste für Gicht- und Kokereigas wurden aus dem Modell für die Eisen- und Stahlerzeugung übernommen.

Bei anderen Energieträgern treten Transportverluste nur in geringen Mengen auf.

3.5.3 Verbrauch des Sektors Energie

Im Verbrauch des Sektors Energie werden jene Energieträger bilanziert, die in Hochofen und Kokerei, der Mineralölverarbeitung, der Erdöl- und Erdgasförderung und in Kraft- und Heizwerken verbraucht werden, sowie auftretende Pumpspeicherverluste.

Durch die Technologieänderung in der Eisen- und Stahlindustrie (siehe Kapitel 3.3) gibt es eine Verschiebung von Kohle zu Wasserstoff und Strom.

Die Mineralölverarbeitung geht bis 2040 auf ca. die Hälfte zurück, daher sinkt auch der Energiebedarf entsprechend.

Für die Öl- und Gasförderung werden die Annahmen aus dem Primes Referenzszenario übernommen (Europäische Kommission, 2021). In diesem wird angenommen, dass in Österreich die Ölförderung 2034, die Gasförderung 2039 endet.

Durch den insgesamt höheren Bedarf an Strom und Fernwärme steigt auch der Verbrauch in Kraft- und Heizwerken.

3.6 Bilanzen ausgewählter Energieträger

3.6.1 Wasserstoff

Wasserstoffstrategie Laut österreichischer Wasserstoffstrategie werden in der österreichischen Industrie derzeit 4,6 TWh Wasserstoff eingesetzt.

nur erneuerbarer Wasserstoff im Szenario Transition Im Szenario Transition wird nur erneuerbarer Wasserstoff bilanziert. Dieser wird in Österreich ausschließlich mittels Elektrolyse aus erneuerbarem Strom erzeugt. Bis 2030 wird gemäß der Wasserstoffstrategie 1 GW_{el} an Elektrolysekapazitäten errichtet, sodass 3,75 TWh Wasserstoff erzeugt werden. Ab dem Jahr 2035 werden große Mengen an klimaneutralem Wasserstoff durch die Fertigstellung des EU-Hydrogen-Backbones (EHB, 2022) aus Ländern mit geringeren Gesteungskosten importiert. In Österreich werden die Elektrolysekapazitäten daher nur auf ca. 3 GW_{el} bis 2040 ausgebaut. Bis zum Jahr 2040 steigt der Bedarf durch die Umstellungen in der Eisen- und Stahlerzeugung, in der Herstellung von Ammoniak und Düngemitteln, durch den Ersatz von fossilem Gas in der Industrie und durch den Einsatz von Wasserstoff im Güterverkehr auf 106 PJ.

Tabelle 20: Wasserstoffverbrauch nach Sektoren für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz*		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Umwandlungseinsatz	0	1	11	11
Verbrauch des Sektors Energie	0	0	33	32
nichtenergetischer Verbrauch	0	2	11	10
Industrie	0	11	42	39
Verkehr	0	3	8	10
Wasserstoffverbrauch	0	18	106	102

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können sich Rundungsdifferenzen ergeben.

* Der aktuelle fossile Wasserstoffverbrauch der Industrie ist ca. 4,6 TWh, wird aber in der Energiebilanz nicht eigens ausgewiesen.

3.6.2 Biomasse inklusive Biomethan

Bei der energetischen Nutzung von Biomasse ist zu beachten, dass für die EU-Mitgliedstaaten auch Ziele für die THG-Senken aus Waldbewirtschaftung bestehen. Die Gewährleistung einer Senkenwirkung aus dem Sektor LULUCF ist eine wichtige Komponente, um das Ziel der Klimaneutralität 2040 zu erreichen.

Daher wurde bei der energetischen Nutzung von Biomasse (siehe Tabelle 21) darauf Wert gelegt, dass die Gesamtmenge nicht über die bestehende Nutzung und die zusätzlich mögliche Aufbringung von Biomethan hinausgeht.

Der energetische Einsatz von Biomasse kann einerseits in feste, flüssige und gasförmige Energieträger, andererseits in die beiden Aggregate der Energiebilanzen der Statistik Austria (Scheitholz, biogene Brenn- u. Treibstoffe) unterteilt werden.

feste Biomasse Die holzartige Biomasse wird zum Teil importiert. Da aber bis 2050 fast alle Länder klimaneutral sein wollen, ist davon auszugehen, dass die verfügbaren Importe bis 2050 geringer werden. Bis 2040 nimmt der Verbrauch zu, dann sinkt dieser vor allem aufgrund der thermischen Sanierung in Gebäuden. Scheitholz wird vor allem in Haushalten eingesetzt. Bei den anderen holzartigen Energieträgern wird die Ablage in der Papierindustrie eingesetzt. Holzabfälle dienen zum einen zur Erzeugung von Fernwärme und Strom – sowohl in Anlagen der öffentlichen Energieversorgungsunternehmen (EVU) als auch der industriellen Eigenanlagen (UEA) –, zum anderen zur Bereitstellung von Raumwärme in den Sektoren Industrie, Gebäude und Landwirtschaft. Pellets werden vor allem in Gebäuden eingesetzt.

flüssige Biomasse Für die Biokraftstoffe wird angenommen, dass die im Jahr 2015 bereits produzierte bisherige Höchstmenge auch in kommenden Jahren erreicht werden kann. Der Einsatz von Biokraftstoffen, u. a. Biodiesel bzw. HVO (hydrotreated vegetable oil) ist vor allem für den Offroad-Bereich vorgesehen.

gasförmige Biomasse Hinsichtlich Biogas wird angenommen, dass in Österreich ein Aufbringungspotenzial von ca. 10 TWh aus landwirtschaftlichen Quellen (Wirtschaftsdünger, Zwischenfrüchte, Stroh) und biogenen Abfällen zur Verfügung steht (AEA, 2021). Für das Szenario Transition wird keine nennenswerte Biogaserzeugung durch Holzvergasung angenommen.

Im Gegensatz zu 2020 soll Biogas nicht vollständig verstromt, sondern ab 2025 zunehmend ins Leitungsnetz eingespeist werden. Daher muss das Biomethan (ca. 60 %) von den anderen Bestandteilen (v. a. CO₂) abgetrennt werden. Die dabei auftretenden Verluste an Biomethan werden mit 2 % angenommen. Biomethan und Wasserstoff ersetzen fossiles Erdgas ab 2040 vollständig.

Im Transportbereich wird Biomethan nur in Verdichterstationen des Gasnetzes eingesetzt, im nichtenergetischen Verbrauch nur als beigemischter Teil, der dann auch durch Wasserstoff ersetzt wird.

Tabelle 21: Biomasseeinsatz nach Sektoren für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Umwandlungseinsatz	63	82	76	59
Industrie (inkl. Eigenanlagen)	70	72	88	89
Gebäude	74	71	60	49
Landwirtschaft	6	6	6	5
Verkehr	17	17	28	13
Biomasseeinsatz	230	248	259	216

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können sich Rundungsdifferenzen ergeben.

Tabelle 22: Biomethaneinsatz nach Sektoren für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Umwandlungseinsatz	7,18	0,10	9,00	5,84
Verbrauch des Sektors Energie	0	0,50	3,29	3,06
Transportverluste im Gasnetz	0	0,01	0,11	0,11
nichtenergetischer Verbrauch	0	0,95	0	0
Landwirtschaft	0	0,04	0,61	0,55
Industrie	0,75	17,88	19,97	22,78
Verkehr	0	0,76	0	0
Gebäude	0	4,23	3,15	1,38
Biomethaneinsatz	7,39	24,47	36,13	33,72

3.6.3 Erdgaseinsatz

Erdgas als fossiler Energieträger spielt bis zur Mitte des Jahrhunderts eine immer geringer werdende Rolle. Im Jahr 2020 war Erdgas nach Erdöl und Strom noch einer der wichtigsten Energieträger.

Tabelle 23: Erdgaseinsatz nach Sektoren für ausgewählte Jahre (Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

in PJ	Energiebilanz		Szenario Transition	
	2020	2030	2040	2050
Umwandlungseinsatz	87	36	0	0
Verbrauch des Sektors Energie	9	4	0	0
Transportverluste	0	0	0	0
Nichtenergetischer Verbrauch	14	8	0	0
Energetischer Endverbrauch	194	86	0	0
Erdgaseinsatz	305	136	0	0

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können sich Rundungsdifferenzen ergeben.

3.7 Ökonomische Entwicklung im Szenario Transition

volkswirtschaftliche Hauptaggregate

Die volkswirtschaftlichen Entwicklungen wurden mittels MIO-ES-Modell des Umweltbundesamtes errechnet (**Makroökonomisches Input-Output-Modell mit integriertem Energiesystem**, CESAR, 2020). Im Folgenden werden die Ergebnisse des **Szenario Transition** mit dem **Szenario WEM** (with existing measures)¹³ verglichen.

Alle Komponenten des Bruttoinlandsprodukts (BIP, im Folgenden mit Wertschöpfung gleichgesetzt, da im MIO-ES BIP-Effekte am besten über die Wertschöpfung abgelesen werden und diese das BIP sehr genau approximiert), die hier dargestellt werden – Investitionen, Wertschöpfung, privater Konsum – weisen im **Szenario Transition** ein höheres Niveau als im **Szenario WEM** auf (Abbildung 11 bzw. Tabelle A3).

Wertschöpfung

Die Wertschöpfung im **Szenario Transition** liegt stets über dem Wert des **Szenario WEM**. Im Durchschnitt der Periode von 2023 bis 2050 sind es etwa plus 1,1 %. Die Durchschnittswerte der einzelnen Dekaden sind in Abbildung 11 dargestellt. Die Wertschöpfung (entspricht BIP exklusive Gütersteuern und Gütersubventionen) wächst von 2023 bis 2050 im Durchschnitt um etwa 1,37 % pro Jahr. Im **Szenario WEM** liegt das durchschnittliche Wachstum im selben Zeitraum bei 1,35 % pro Jahr. Die durchschnittliche Differenz von 0,02 % pro Jahr liegt vor allem an den zusätzlichen Investitionen für die Transformation des Energiesystems (z. B. zum Ausbau erneuerbarer Energieträger). Zusätzlich wirken Multiplikator-Effekte der Investitionen.

Investitionen

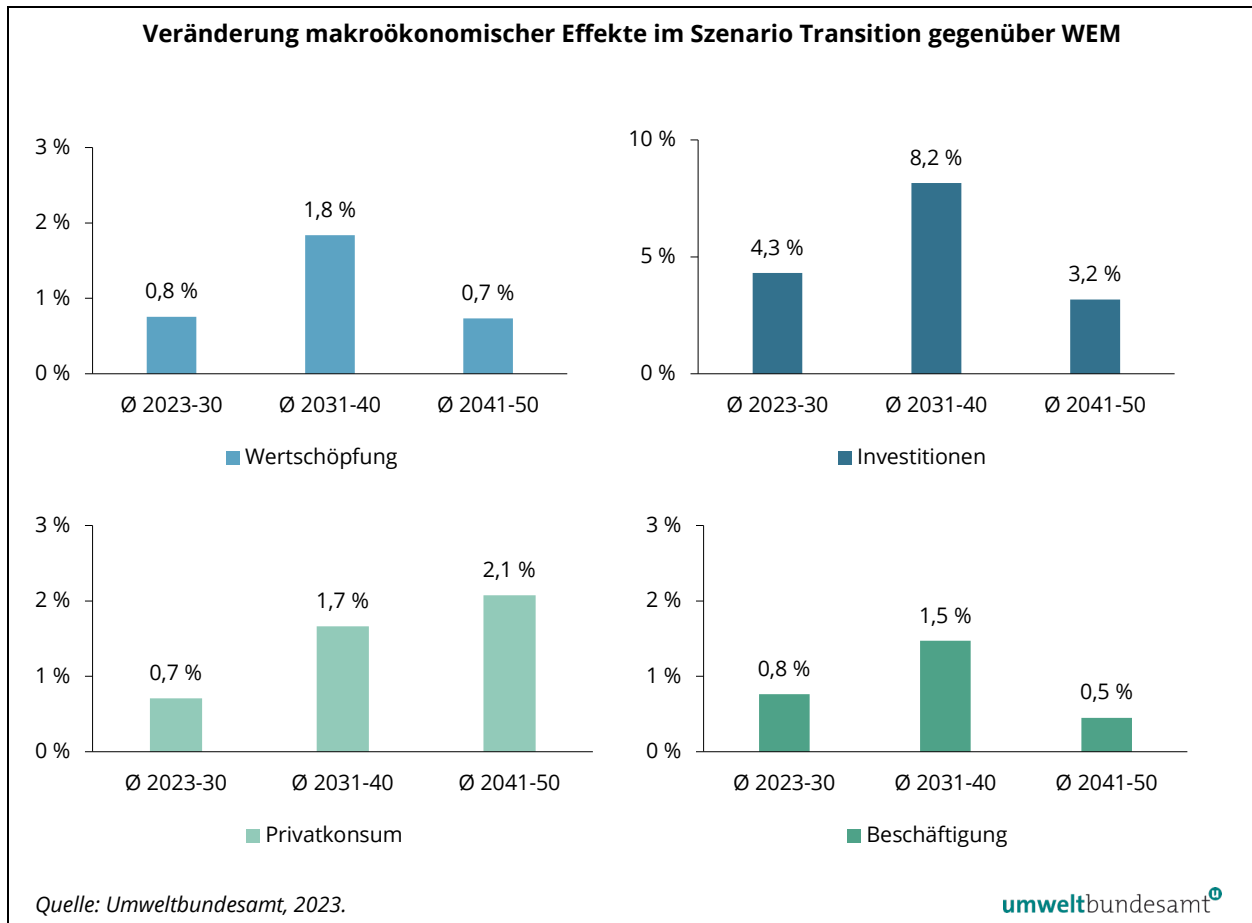
Die zusätzlichen Investitionen im Zuge der Energiewende wachsen bis in die späten 2030er Jahre besonders stark, machen allerdings in Summe einen relativ

¹³ Im Szenario WEM wurden jene Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem 1. Jänner 2022 in Österreich und der EU umgesetzt bzw. rechtlich verankert wurden.

kleinen Teil der Gesamtinvestitionen aus. Sie finden vor allem aufgrund von klimapolitischen Maßnahmen im Energie-, Gebäude- und Verkehrssektor (Ausbau erneuerbarer Energieträger, Gebäudesanierungen, Heizkesseltausch und Umstieg auf klimaneutrale Mobilität) und – etwas abgeschwächter – im Industriesektor (Produktionsprozesse) statt. Über den gesamten Zeitraum betrachtet liegen die zusätzlichen Investitionen im **Szenario Transition** durchschnittlich 5,2 % über dem **Szenario WEM**. Die Investitionen wachsen von 2023 bis 2050 durchschnittlich um 0,92 % pro Jahr, wobei das Wachstum von 2023 bis 2040 mit durchschnittlich 1,06 % pro Jahr am stärksten ist.

privater Konsum Der private Konsum liegt im Durchschnitt der Gesamtperiode um 1,5 % über dem Niveau des **Szenario WEM**. Er zeigt im **Szenario Transition** ein relativ kontinuierliches Wachstum von durchschnittlich 1,1 % pro Jahr von 2023 bis 2050 (gegenüber 1,0 % pro Jahr im **Szenario WEM**).

Abbildung 11: Veränderungen makroökonomischer Größen im Szenario Transition gegenüber dem Referenzszenario WEM.



Beschäftigung Das **Szenario Transition** weist über den gesamten Zeitraum eine höhere Beschäftigung auf als das **Szenario WEM** (siehe Abbildung 11). Im Durchschnitt der Jahre 2023 bis 2050 liegt die Beschäftigung 0,9 % (entspricht jährlich 40.000 Vollzeitäquivalenten) über dem WEM-Niveau.

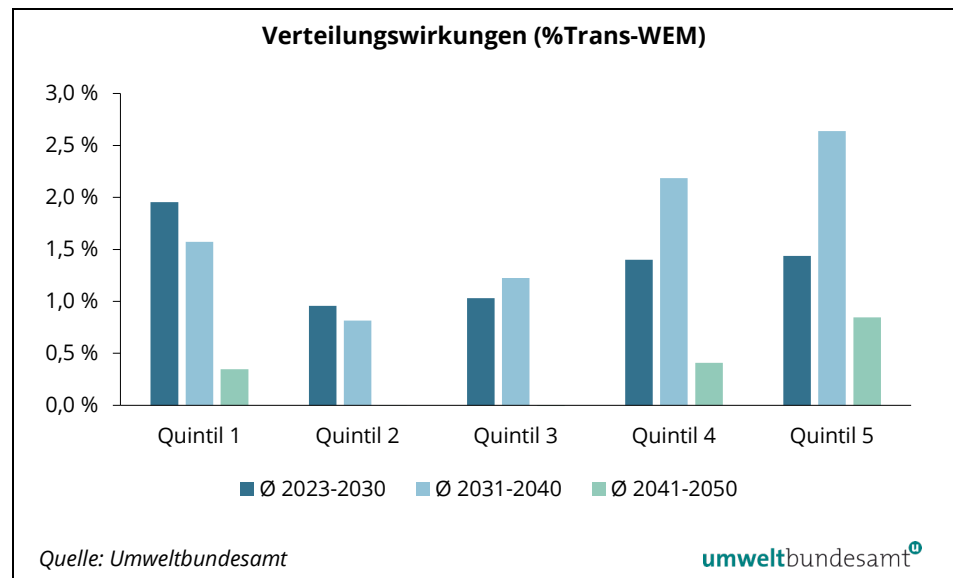
Die Arbeitslosenrate sinkt von 4,6 % in der ersten Dekade (2023–2030) auf 2,9 % in der letzten Dekade (2041–2050). Die Beschäftigungsdynamik erklärt sich generell aus den hohen Investitionen, die zum Teil auch besonders beschäftigungsintensiv sind (beispielsweise der Bereich Wärmedämmung, Reparatur von Produkten, Dienstleistungen). Gegen Ende der Periode wird der Rückgang der Arbeitslosenrate auch von dem eingeschränkten Angebot an Erwerbstätigen kodeterminiert.

Verteilungswirkungen

Hinsichtlich der Verteilungswirkungen bis 2040 liegt das verfügbare Haushaltseinkommen aller Einkommensgruppen aufgrund der im **Szenario Transition** hinterlegten Maßnahmen und einkommensbezogenen Förderungen über dem Niveau des **Szenario WEM** (siehe Abbildung 12).

Die steigenden Energiepreise werden durch die Einführung von Transferleistungen an die Haushalte (Klimabonus, einkommensabhängige Förderungen) zu großen Teilen kompensiert. Im Rückvergütungsmodell des Klimabonus werden untere Einkommensgruppen tendenziell überkompensiert – diese Struktur der Rückvergütung wurde auch nach 2025 angenommen. Zusätzlich wirken einkommensabhängige Förderungen, wie zum Beispiel „Sauber Heizen für Alle“ sowie „UFI Bekämpfung von Energiearmut“, die über die gesamte Periode fortgeschrieben oder ab Mitte der 2030er Jahre im Sinne einer Just Transition schrittweise erhöht werden. Der private Konsum steigt aufgrund der Transferleistungen als Teil des verfügbaren Einkommens und der steigenden Beschäftigung. Durch den Trend zu nachhaltigeren Produkten steht diese Entwicklung nicht im Widerspruch zur Erreichung der Klimaziele.

Abbildung 12:
Veränderungen des verfügbaren Einkommens nach Quintilen im Szenario Transition gegenüber dem Szenario WEM.



Entwicklung wichtiger NACE-Sektoren

Tabelle 24 listet jene elf Sektoren (von insgesamt 80 Sektoren) auf, die wegen der Transformation im Szenario Transition die größten Änderungen aufweisen. Werden die Effekte auf Branchenebene betrachtet, so zeigt sich, dass die zusätzlichen Investitionen im Szenario Transition positive Wertschöpfungs- und

Beschäftigungswirkungen in der Bauwirtschaft und den der Bauwirtschaft vorgelagerten Wirtschaftsbranchen auslösen, wie beispielsweise in der Gewinnung sowie Verarbeitung von Steinen und Erden. Diese Branchen werden aufgrund des geplanten Ausbaus der Infrastruktur im öffentlichen Verkehr, im Radverkehr, im Gebäudebereich (Sanierung und Heizkesseltausch) sowie in der erneuerbaren Stromerzeugung und -leitung stimuliert. Die Bauwirtschaft ist auch eine relativ beschäftigungsintensive Branche, d. h. pro Produktionseinheit werden im Vergleich zu anderen Branchen mehr Arbeitskräfte benötigt und somit mehr heimische Arbeitsplätze gesichert.

Durch den geplanten Ausbau erneuerbarer Energieträger steigen auch die heimische Produktion und Beschäftigung in der Stromerzeugung und -versorgung deutlich. In der Sachgütererzeugung verzeichnen außerdem die Herstellung von Holzprodukten, Metallernzeugnissen und elektrischen Ausrüstungen sowie die Installation von Maschinen und Ausrüstungen Wertschöpfungs- und Beschäftigungszuwächse.

Tabelle 24: Die elf Wirtschaftszweige im Szenario Transition die zentral für die Transformation sind und deren Wertschöpfungsabweichungen zwischen 2023 und 2040 gegenüber dem Szenario WEM (Quelle: Umweltbundesamt).

Ausgewählte NACE-Branchen	Prozentuelle bzw. absolute Abweichung der Wertschöpfung im Szenario Transition gegenüber dem Szenario WEM			
	2023–2030		2031–2040	
	%	Mio. EUR ₂₀₂₀	%	Mio. EUR ₂₀₂₀
2 – Forstwirtschaft und Holzeinschlag	8,9 %	155	11 %	237
8 – Gewinnung von Steinen und Erden	15,5 %	75	18,9 %	93
16 – Herstellung von Holzprodukten (ohne Möbel)	19,3 %	451	21,9 %	643
19 – Mineralölverarbeitung	-7,8 %	0	-23,9 %	-1
23 – Verarbeitung von Steinen und Erden	5,9 %	178	8,8 %	289
25 – Herstellung von Metallernzeugnissen	3,7 %	309	4,5 %	446
27 – Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	1,5 %	103	3,2 %	237
33 – Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	3,4 %	122	7,0 %	287
35.1 – Elektrizitätsversorgung	6,7 %	536	26,5 %	2.410
41–43 – Baugewerbe, Hoch- und Tiefbau	27,8 %	5.930	33,6 %	9.334
51 – Luftfahrt	-13,2 %	-136	-27,2 %	-249
Gesamte Wirtschaft	0,8 %	2.985	1,8 %	7.999

4 TREIBHAUSGASEMISSIONEN IM SZENARIO TRANSITION

THG-Reduktion Aufgrund der getroffenen Annahmen und Maßnahmen erfolgt im Szenario Transition von 2020 bis 2030 eine Reduktion der gesamten österreichischen Treibhausgasemissionen von 73,9 Mio auf rund 41,2 Mio. Tonnen CO₂-äq. (- 48 % gegenüber 1990; siehe Abbildung 13, bzw. Tabelle 25)

Von den Emissionen im Jahr 2030 entfällt fast die Hälfte (20,5 Mio. Tonnen CO₂-äq.; davon sind 16,7 Mio. Tonnen CO₂-äq. innerhalb des ETS) auf Energie und Industrie und ca. ein Fünftel (8,6 Mio. Tonnen CO₂-äq.) auf den Sektor Verkehr. Im Effort-Sharing-Bereich entspricht das einer Reduktion der Treibhausgase von - 57 % gegenüber 2005 (vgl. Tabelle C). Die rasche Substitution fossiler Energieträger durch Strom, Biogas und Wasserstoff führt zu dieser Übererfüllung des THG-Ziels für 2030.

Bis 2040 erfolgt eine weitere Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen auf 11,0 Mio. Tonnen CO₂-äq. (-86 % gegenüber 1990). Hierbei verschiebt sich die Bedeutung der Sektoren hinsichtlich deren Emissionsbeiträge. Die verbleibenden 11,0 Mio. Tonnen CO₂-äq. setzen sich vor allem aus den nichtenergetischen Emissionen der Sektoren Landwirtschaft (4,3 Mio. Tonnen CO₂-äq.) und den Prozessemissionen bzw. den energiebedingten Emissionen der Sektoren Energie und Industrie (4,5 Mio. Tonnen CO₂-äq. insgesamt, davon unterliegen 3,9 Mio. Tonnen CO₂-äq. dem EU-Emissionshandel) zusammen.

Energieaufbringung Aufgrund des Energieträgerwechsels von Öl und Kohle zu Erneuerbaren vermindern sich die Treibhausgasemissionen im Bereich Energieaufbringung zunächst deutlich. Es wird erwartet, dass vor allem die installierten Kapazitäten von Photovoltaikanlagen und Windkraftanlagen deutlich ansteigen.

Im Szenario Transition bewirken in diesem Sektor Maßnahmen zum weiteren Ausbau von erneuerbarer Fernwärme und erneuerbarem Strom (Ausstieg aus der fossilen Erzeugung) zusammen mit dem Produktionsrückgang der Erdölraffinerie zwischen 1990 bis 2030 eine weitere Treibhausgas-Einsparung von rund 15,9 Mio. Tonnen CO₂-äq., darüber hinaus von 1990 bis 2040 31,9 Mio. Tonnen CO₂-äq., von 1990 bis 2050 32,4 Mio. Tonnen CO₂-äq.

Industrie und produzierendes Gewerbe Der Bereich Industrie und produzierendes Gewerbe (inkl. Prozessemissionen) ist eine Hauptquelle von Treibhausgasemissionen in Österreich. Die Emissionen entstehen als Prozessemissionen, z. B. in der Verarbeitung von Kalkstein in der Zementindustrie, der Glasindustrie und der Kalkindustrie (auch Prozesse der Eisen- und Stahlindustrie und der Chemischen Industrie) und als energiebedingte Emissionen aus dem Brennstoffverbrauch. Zu den emissionsintensiven Industrien zählen in Österreich die Eisen- und Stahlproduktion sowie die Mineralverarbeitende Industrie, gefolgt von der Chemischen Industrie und der Papier- und Zellstoffindustrie.

Die langfristigen Wirtschaftsszenarien des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung (WIFO) gehen von einer stetig wachsenden sektoralen Bruttowertschöpfung und damit assoziierten Produktionssteigerungen aus. Aufgrund der im Szenario Transition vorgenommenen Maßnahmen, wie z. B. Steigerung der Energieeffizienz sowie verstärkte Wirkung des CO₂-Preises (innerhalb sowie auch außerhalb des Emissionshandels), Umstellungen im Konsum und in der Nutzung und Erzeugung von Produkten, sinken die Treibhausgasemissionen ab.

Verkehr Der Verkehrssektor ist eine der wichtigsten Treibhausgasemissionsquellen in Österreich. Ein erheblicher Anteil (bis zu 30 %) der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor wird aufgrund von niedrigeren Treibstoffpreisen in Österreich durch den Kraftstoffexport im Fahrzeugtank ins benachbarte Ausland verursacht.

Im Szenario Transition zeigt der Sektor Verkehr mit seinem Reduktionspotenzial von rund 20,6 Mio. Tonnen CO₂-äq. im Jahr 2040 in Bezug auf 2020 eine erhebliche sektorale Einsparung. Hier wurden jedoch ein massiver Wandel der derzeit praktizierten Personen- und Gütermobilität (Stichwort „Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger“ und „legistische Maßnahmen“) sowie eine kontinuierliche Einführung von CO₂-freien Antrieben zugrunde gelegt.

Gebäude Im Sektor Gebäude zeigt sich trotz steigender Anzahl privater Haushalte und einer Zunahme der genutzten Wohnfläche pro Kopf eine beträchtliche Abnahme der Treibhausgasemissionen bis 2030, die bis 2040 nahezu auf null fallen.

Im Szenario Transition führen insbesondere ambitionierte Maßnahmen zur Steigerung der Sanierungsrate und -qualität, der Ausbau der Fernwärme sowie die Elektrifizierung durch Wärmepumpen zu einem deutlichen Absinken des Energieverbrauchs und in weiterer Folge zu Emissionseinsparungen.

Landwirtschaft Von 1990 bis 2020 zeigt sich im Sektor Landwirtschaft ein leicht fallender Trend an Treibhausgasemissionen, welcher hauptsächlich auf den rückläufigen Viehbestand, aber auch auf einen deutlich reduzierten Mineräldüngereinsatz zurückzuführen ist.

Eine Aktualisierung der Projektionen des Viehbestands zeigt ein deutliches Sinken der Viehbestände bis 2030. Danach bleiben die Bestände relativ konstant.

Im Szenario Transition wird eine Eindämmung der Treibhausgasemissionen auf ein gegenüber 2020 sinkendes Emissionsniveau erreicht. Dafür sind Annahmen zu weiteren Effizienzsteigerungen im Umgang mit Stickstoff, Forcierung von Zweinutzungsrindern, Optimierung der Nutzung von Wirtschaftsdüngern sowie eine teilweise Änderung des Ernährungsverhaltens mit Auswirkung auf den Tierhaltungssektor verantwortlich.

Abfallwirtschaft Seit 1990 haben sich die Treibhausgasemissionen in der Abfallwirtschaft durch eine Vielzahl von Maßnahmen bereits deutlich reduziert. Im Szenario Transition können durch einen Rückgang im Bereich der Deponierung und durch die Vermeidung von Abfällen in der Verbrennung die Emissionen zwischen 2020 und 2050 von 2,3 auf 1,2 Mio. Tonnen CO₂-äq. annähernd halbiert werden.

F-Gase Der Sektor Fluorierte Gase (HFC, PFC, SF₆ und NF₃) verursachte 2020 Emissionen im Ausmaß von 2,2 Mio. Tonnen CO₂-äq. und damit 3 % der nationalen Treibhausgasemissionen. Hierbei ist zu erwarten, dass sich dieser Anteil aufgrund legislatischer Maßnahmen deutlich reduzieren wird.

Abbildung 13: Entwicklung der THG-Emissionen nach Sektoren 1990 bis 2050.

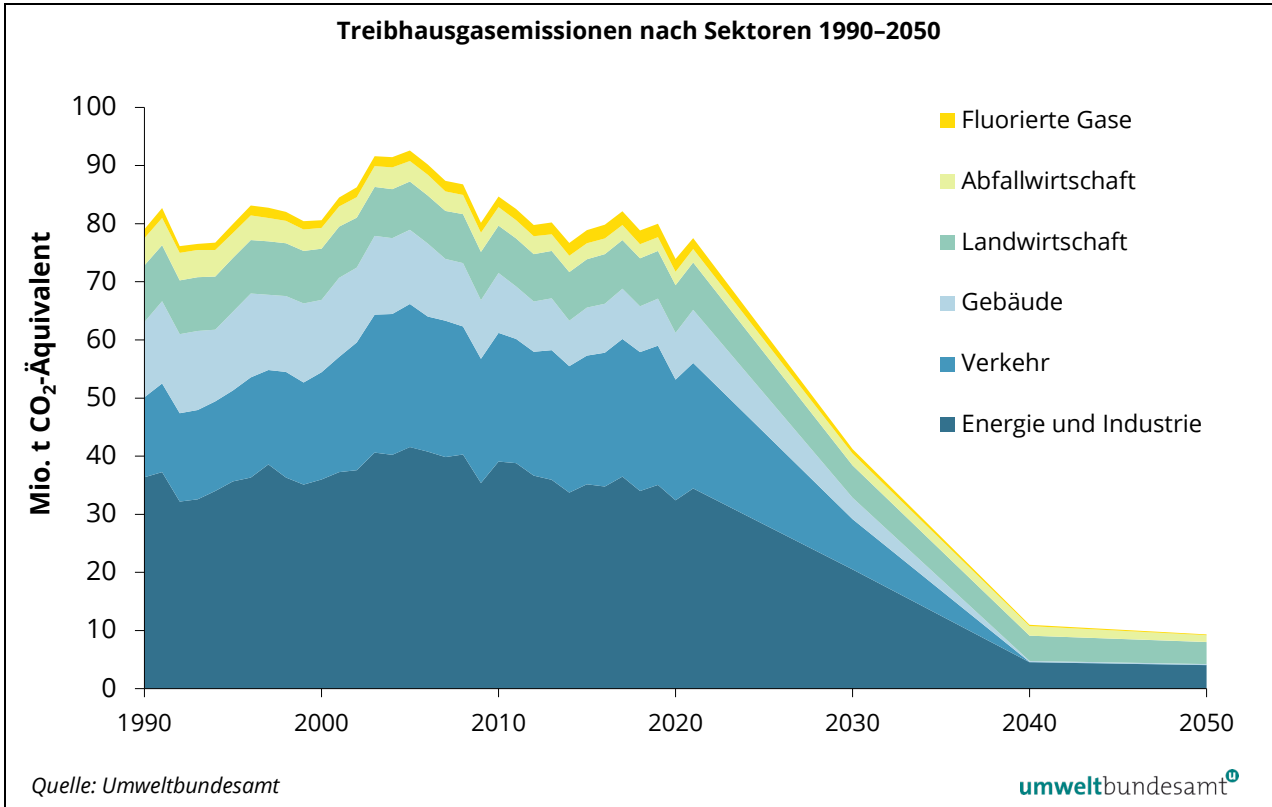


Tabelle 25: Treibhausgasemissionen nach Sektoreinteilung des Klimaschutzgesetzes für das Szenario Transition für ausgewählte Jahre (Quelle: Umweltbundesamt).

in Mio. Tonnen CO ₂ -äq.	THG-Inventur *			Szenario Transition		
	1990	2005	2020	2030	2040	2050
Energie und Industrie gesamt	36,4	41,6	32,4	20,5	4,5	4,0
... Energie und Industrie außerhalb Emissionshandel (EH)	-	5,8	5,4	3,8	0,6	0,5
... Energie und Industrie im Emissionshandel*	-	35,7	27,0	16,7	3,9	3,5
Verkehr **	13,8	24,6	20,7	8,6	0,1	0,0
Gebäude	12,9	12,7	8,1	3,7	0,2	0,1
Landwirtschaft	9,8	8,3	8,2	5,5	4,3	3,8
Abfallwirtschaft	4,7	3,6	2,3	2,0	1,7	1,2
F-Gase	1,6	1,8	2,2	0,8	0,2	0,2
THG nach KSG (ohne EH) ***	-	56,8	46,9	24,5	7,1	5,9
Gesamte Treibhausgase	79,0	92,6	73,9	41,2	11,0	9,4

Durch die Darstellung ohne Kommastelle können sich Rundungsdifferenzen ergeben.

* Daten für 2005 bis 2012 wurden entsprechend der ab 2013 gültigen Abgrenzung des EH angepasst. Die aktuellen Emissionsdaten weichen von bisher publizierten Zeitreihen ab.

** Verkehr inkl. nationalem Flugverkehr (nationaler Flugverkehr 2020: rund 23 kt CO₂)

*** Sektoreinteilung nach Klimaschutzgesetz (KSG) – ohne Emissionshandel und ohne CO₂-Emissionen aus nationalem Flugverkehr.

Kompensation der THG-Emissionen und Kohlenstoffintensität

nicht vermeidbare Emissionen

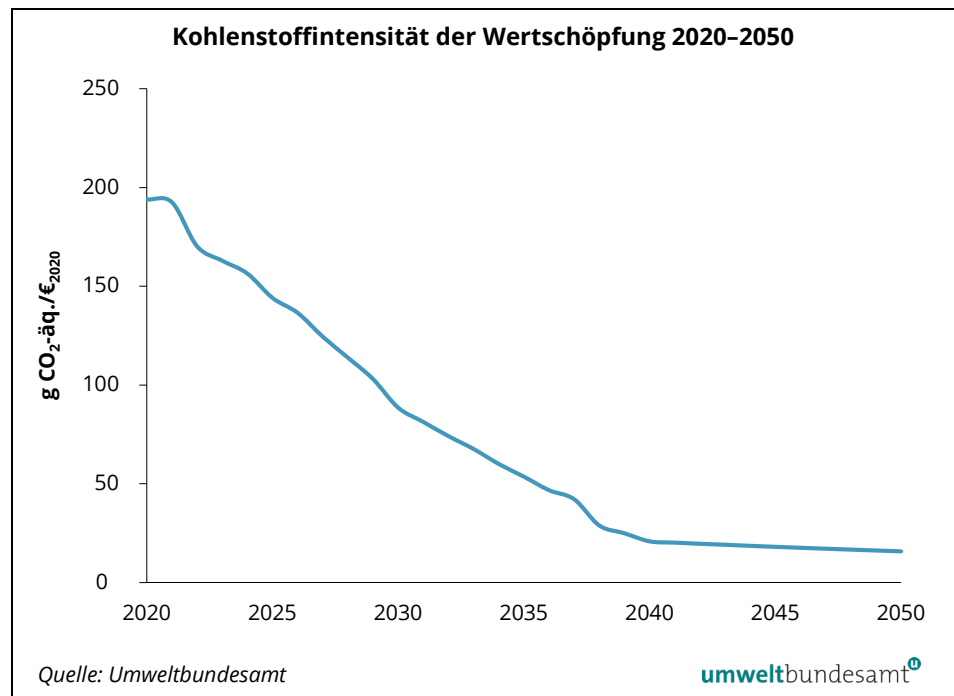
Im Jahr 2040 verbleiben im Szenario Transition 11,0 Mio. Tonnen CO₂-äq. und 2050 9,4 Mio. Tonnen CO₂-äq. an Treibhausgasemissionen. Diese Emissionen sind nicht durch Energieträger- oder Technologiewechsel vermeidbar. Unter aktuellen Voraussetzungen werden im Jahr 2040 für die verbleibenden Restemissionen keine ausreichenden natürlichen Kohlenstoffsenken zur Verfügung stehen. Soll die vollständige Reduktion der nationalen Treibhausgasemissionen ohne zusätzliche Maßnahmen bzw. eine Maßnahmenintensivierung zur Emissionsreduktion erfolgen, muss eine Form der technischen Kohlenstoffsequestrierung eingesetzt werden. Zur Verfügung stehen Carbon Capture and Storage (CCS) Systeme wie Biomasse - CCS (BECCS) oder direct air carbon capture and storage (DACCS). Der Energieaufwand dafür liegt zwischen 2,3 und 10 GJ/Tonne CO₂. Um 11,0 Mio. Tonnen CO₂-äq. abzuscheiden sind somit zwischen 25,3 und 110 PJ notwendig und für 9,4 Mio. Tonnen CO₂-äq. sind zwischen 21,6 und 94 PJ notwendig (Umweltbundesamt, 2023a).

Kohlenstoffintensität der Wertschöpfung

Die Kohlenstoffintensität der Wertschöpfung in Österreich basiert auf dem Zusammenführen der Wertschöpfung mit den Treibhausgasemissionen.

Bei steigender Wertschöpfung setzt sich damit die relative Entkopplung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum fort. Die Restemissionen, die sich ab 2040 stabilisieren, ergeben eine Kohlenstoffintensität von ca. 21 g CO₂-äq. pro Euro Wertschöpfung.

Abbildung 14:
Kohlenstoffintensität der
Wertschöpfung in Öster-
reich 2020 bis 2050.



Kohlenstoffintensität = gesamte Treibhausgasemissionen / Wertschöpfung.

5 MAßNAHMEN SZENARIO TRANSITION

5.1 Allgemein

Maßnahmen

- Einführung einer effektiven, gebietskörperschaftsübergreifenden Klimagovernance gemäß Regierungsprogramm.
- Kostenwahrheit: Internalisierung der externen Kosten bei Energieträgern.
- Schaffung klarer rechtlicher Rahmenbedingungen für 2030, 2040 und 2050 in Hinblick auf verbindliche Klimazielsetzungen.
- Fortführung des Klimabonus und Bepreisung von CO₂.
- Prüfung der klimapolitischen Förderlandschaft und, darauf basierend eine kosteneffektive Verwendung der Mittel und ein effizienter Einsatz der vorhandenen Hebel der öffentlichen Hand zur Erreichung der Umwelt- und Klimaziele¹⁴, z.B. ein Phase-out klimakontraproduktiver Förderungen.
- Schaffung kompakter, flächensparender Siedlungsstrukturen mit funktionaler Durchmischung durch verbesserte Raumplanung und Bauordnungen.
- Ausweisung von Vorranggebieten für erneuerbare Energieerzeugung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren durch ausreichendes Personal für Behörden und effektive Energieraumplanung.

Annahmen

- Dem Szenario liegen weltweit abgestimmte Aktivitäten und Handlungsweisen zugrunde, um die Ziele des Klimaübereinkommens von Paris zu erfüllen. Grenzüberschreitende Allianzen für Klimaschutz werden gebildet.
- Der Arbeitsmarkt wird in Richtung Klimaschutz unterstützt.
- Umweltgerechtes Verhalten der Bevölkerung wird durch Bewusstseinsbildung sowie transparente Aushandlungs- und Beteiligungsprozesse unterstützt. Klimaschutz wird in Lehr- und Studienplänen sowie in der Erwachsenenbildung verankert.
- In der räumlichen Energieplanung werden Bürger:innenbeteiligungen durchgeführt.
- Green Investments werden gefördert. Privates Anlagekapital in klimawirksame Investitionen wird erhöht (grüner Aktienindex, grüne Staatsanleihen). Klimarisiken werden eingepreist, dadurch gewährt der Markt klimawirksamen Projekten günstigere Kreditbedingungen, Bürger:innenbeteiligung wird ausgebaut.
- Experimentierräume für soziale und technologische Innovationen werden geschaffen.

¹⁴ https://www.bmf.gv.at/themen/klimapolitik/green_Budgeting/green_spending_reviews_des_bmf/spending_review_im-rahmen_des_%C3%B6sterreichischen_aufbau-und_resilienzplans.html

5.2 Energie

Maßnahmen

- EU-Emissionshandel mit Cap und Trade in Übereinstimmung mit dem Klimaneutralitätsziel 2050.
- CO₂-Bepreisung im non-ETS-Bereich. Fortschreitende Harmonisierung der CO₂-Preise im ETS II.
- Umsetzung Energieeffizienzgesetz, Erneuerbare-Wärme-Gesetz, Erneuerbares-Gas-Gesetz.
- Umstellung der Verdichterstationen auf elektrische Antriebe.
- Revision des Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzes bis 2030 mit höheren Wind- und PV-Mengen und Fortsetzung des Erneuerbaren-Ausbaus darüber hinaus bis 2040 bzw. 2050.
- Dynamik entsprechend den aktuellen Entwicklungen auf europäischer Ebene:
 - Stromerzeugung durch Wasserkraft: 47 TWh p. a. ab 2030, 48 TWh p. a. ab 2040.
 - PV: 21 TWh p. a. ab 2030 und 41 TWh p. a. ab 2040.
 - Wind: 21 TWh p. a. ab 2030, 29 TWh p. a. ab 2040.

Annahmen

- Die Energieversorger wandeln sich zu Energiedienstleistern, deren Geschäftsmodelle auf Leistungsvereinbarungen basieren, wodurch Energieeffizienz und Energiesparen seitens der Verbraucher:innen zum Geschäftserfolg beitragen.
- Bereits versiegelte Flächen werden zur Energiegewinnung genutzt, um weitere Bodenversiegelung möglichst zu vermeiden.
- Zunehmend besser funktionierender europäischer Markt und Unterstützung der Netzstabilität durch bedarfsseitiges Management.
- Große Elektrolyseanlagen zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff werden errichtet.
- Abfall: Änderung des biogenen Anteils durch biobasierte Kunststoffe und Reduktion fossiler Abfallinhaltsfraktionen.
- Eine stärkere Entwicklung von Flexibilitätsoptionen (Demand Side Management - DSM, unterschiedliche Speicher, Elektrolyse etc.)
- Ausbau von Pumpspeicherkapazitäten unter Berücksichtigung von ökologischen Kriterien.
- Auslaufen der Erdöl- und Erdgasförderung, Reduktion der Raffineriekapazitäten.

5.3 Industrie

- Maßnahmen**
- Umsetzung des EU-Emissionshandels sowie von CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism).
 - Harmonisierung der ETS-Preises in der EU (derzeit Emissionshandel und ETS II) bis 2040.
 - Investitionen in die Transformation, verbunden mit attraktiven öffentlichen Förderungsangeboten (national und EU).
 - Erweiterung der Ökodesign-Richtlinie auf Produkte zur verpflichtenden Umsetzung von Langlebigkeit, modularem Bau, Möglichkeiten zu Upgrade und Wiederverwertung im Produktionsprozess.
 - Forcierung grüner Nachfragemärkte.
- Annahmen**
- Konsum
 - Geänderte Nutzung von langlebigen, hochqualitativen Produkten („sharing economy“, Leasing, Re-Use, Upgrade, Recycling) und damit auch Veränderung der Produktionsprozesse – hocheffiziente Nutzung der eingesetzten Energien und Ressourcen (verbessertes Recycling).
 - Reparierbarkeit von Produkten. Keine Vernichtung von neuwertigen Waren.
 - Produktion
 - Schaffung günstiger Wettbewerbsbedingungen und eines starken Heimmarktes in der EU für die Entwicklung von neuen Technologien, die für die Dekarbonisierung und die Energiewende zentral sind.
 - Stahl: Umstellung auf Elektrostahl und Wasserstoffreduktion.
 - Zement: Reduktion des Klinkeranteils; Erhöhung des Anteils neuer Baustoffe auf 50 %.
 - Papier: Einsatz von Dampf zur Faseraufschlammung.
 - Glas: Verwendung von Elektrowannen.
 - Carbon Capture Utilization and Storage: Verstärkter Einsatz von CCU/S. Integration Österreichs in internationales CO₂-Pipeline-Netz.

5.4 Verkehr

- Maßnahmen**
- Eine klimaneutrale Mobilitätsgarantie wird eingeführt.
 - Mobilitätsmanagement Öffentlicher Verkehr (ÖV): Ticketkosten werden gesenkt, Intervalle verkürzt, Barrierefreiheit umgesetzt.
 - Infrastrukturausbau und Qualitätsverbesserung für Fußgänger:innen und Radverkehr. Der Anteil des Radverkehrs an den Wegen steigt auf 13 %.
 - Raumplanung zielt auf Verdichtung ab.

- Stärkere steuerliche Differenzierung je nach Klimaschädlichkeit von Fahrzeugen.
- Adäquate CO₂-Bepreisung, um elektrische Antriebe ökonomisch deutlich attraktiver zu machen.
- Zur Reduktion der PKW-Kilometer erfolgt zusätzlich die Einführung einer kilometerabhängigen Maut bis 2050.
- Anpassung von Tempolimits.
- Investitionen in Oberleitungen und Schienenverkehr.
- Ab 2030 100 % Neuzulassung von CO₂-freien Antrieben für PKW und LNF (leichte Nutzfahrzeuge).
- Ab 2035 100 % Neuzulassung von CO₂-freien Antrieben SNF (schwere Nutzfahrzeuge) (3,5–40 Tonnen).
- Maßnahmen
 - zur Verlagerung von Kurzstreckenflügen auf die Bahn,
 - zur Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene,
 - zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen von Offroad-Geräten.
- Vollständige Elektrifizierung der Verdichterstationen.

Annahmen

- Verfügbare Biokraftstoffmengen für offroad, Randanwendungen in SNF und Flugverkehr.
- Einschleifen der Güterverkehrsleistung ab 2030:
 - Erhöhung Tonnenkilometer (tkm) Inland gesamt um ca. 20 % gegenüber 2020 ab 2030.
- Verlagerung von +15 Mrd. tkm auf die Schiene
 - Annahme: Kapazität Bahnzielnetz 2050 bei 40 Mrd. tkm, (20 Mrd. tkm in 2020).
 - Flugverkehr: Verlagerung der Kurzstreckenflüge auf den Bahnverkehr; Nutzung moderner Kommunikationstechnologien statt Dienstreisen.

5.5 Gebäude**Maßnahmen**

Raumordnung und Siedlungsstrukturen:

- Energieraumplanung:
 - Ausweisung von Zonen für Nutzung (leitungsgebundener) erneuerbarer Energie im maßvoll verdichteten Siedlungsgebiet.
 - Förderung von und ordnungspolitischer Rahmen für Nachverdichtung von Siedlungsflächen (Aufstockung, Nutzung von Baulücken, Abbruch und Wiedererrichtung in Regionen mit niedrigem Wachstum und Verdichtung im Zentrum) führt zu höherem Fernwärmepotenzial.

- Integration von Solaranlagen (v. a. Photovoltaik) und Speichermedien zur Nutzung im gebäudeübergreifenden Energiemanagement (Quartiere).
- Kompakte Gebäude und Flächeneffizienz:
 - Förderung von Mehrgeschoß-Wohnbau: Anstieg von Gebäuden mit höherem Volumen-Oberflächen-Verhältnis (kompakte Gebäudehülle).
 - Entkopplung von Wirtschaftswachstum der Dienstleistungen und erforderlicher Nutzfläche (Flächeneffizienz, Arbeitskultur zu mehr Homeoffice).
 - Reduktion der Nutzflächen im Neubau pro Nutzungseinheit.
 - Sättigung im mittleren Bedarf an Wohnnutzfläche bei 50 m² pro Person.

Fiskalpolitische Maßnahmen:

- Ausreichende Zurverfügungstellung von Förderbudget für thermische Sanierung und Heizungsumstellung:
 - Förderquote gestaffelt nach Ambitionsniveau und Haushaltseinkommen.
 - Schwerpunkt auf tiefer Sanierung und sozialer Abfederung.
- CO₂-Bepreisung im non-ETS-Bereich.

Ordnungspolitik:

- Weiterentwicklung des ordnungsrechtlichen Rahmens auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene:
 - Allgemeines Stilllegungsgebot von Öl-, Flüssiggas- und Kohleheizungen bis 2035 sowie von Gasheizungen bis 2040 (Deinstallation von Öl- und Flüssiggasheizungen, Einsatzverbot von Kohle und fossilen gasförmigen Brennstoffen).
 - Verbot von Errichtung, Einbau oder Aufstellung von Öl-, Kohle-, Flüssiggas- und Gasheizungen im Neubau ab 2023.
 - Erneuerbaren-Gebot bei Umstellung von Öl-, Flüssiggas und Kohleheizungen (Ersatz durch Erneuerbaren-Hauszentralheizung oder Fernwärme).
 - Erneuerbaren-Gebot bei Umstellung von Gas-Hauszentralheizungen (Ersatz durch Erneuerbaren-Hauszentralheizung, Fernwärme oder in Ausnahmefällen Gas-Hauszentralheizung mit verpflichtender Nutzung von erneuerbarem Gas ab 2040).
 - Altersbedingtes Stilllegungs-Gebot von Öl-, Flüssiggas- und Kohleheizungen bei Erreichen der Altersklasse ab 2025 (beginnend mit Baujahr 1980 oder älter) bis 2035 (Baujahr 2014 oder jünger).
 - Zentralisierungs-Gebot von dezentralen Öl-, Kohle- und Gasheizungen (Einzelofen, Etagenheizung) im Fernwärmeversorgungsgebiet ab 2025 (Ersatz durch Erneuerbaren-Hauszentralheizung oder Fernwärme).
- Renovierungs-Gebot und Energiegütesiegel: Verpflichtung zur Setzung von Maßnahmen in „einem angemessenem Zeitraum“ (zehn Jahre), wenn Gebäude länger nicht saniert wurden (~25 Jahre) und thermisch schlecht sind.

„Pinselsanierung“ ohne thermische Verbesserung der Gebäudehülle ist für diese Gebäude nicht mehr erlaubt.

- Renovierungsqualität für umfassende thermische Standardsanierung in Anlehnung an OIB-Richtlinie 6 (Ausgabe 2019, OIB-330.6-026/19), adaptiert für Bauperiode vor 1945 (bzw. Gebäude mit Stuckfassade):
 - Standardsanierung: Heizwärmebedarf = $19 \times (1 + 2,5 / l_c^{15})$
 - Einfamilienhaus ($l_c=1,2$): rund 59 kWh/(m².a)
 - Mehrfamilienhaus ($l_c=3,5$): rund 33 kWh/(m².a)
 - Gebäude vor 1945 (Stuckfassade): Heizwärmebedarf = $27 \times (1 + 2,5 / l_c)$
 - Einfamilienhaus ($l_c=1,2$): rund 83 kWh/(m².a)
 - Mehrfamilienhaus ($l_c=3,5$): rund 46 kWh/(m².a)
 - U-Werte¹⁶ der Bauteile entsprechen zumindest Neubauvorgaben.
 - Effektive Einsparung an Heizenergie in Abhängigkeit vom Nutzungsverhalten (Rebound-Effekte).
- Annahmen**
- Transparente Kommunikation von zukünftigen Preis- und CO₂-Bepreisungserwartungen (Umstieg auf erneuerbare Energieversorgung).
 - Die Bodenversiegelung wird reduziert. Vor neuen Umwidmungen muss bereits gewidmetes Bauland mobilisiert werden.
 - Eine Leerstandsmeldepflicht und eine Leerstandsabgabe werden eingeführt.
 - Der Denkmalschutz für Gebäude wird klimagerecht angepasst.

5.6 Landwirtschaft

- Maßnahmen**
- Verstärkte Berücksichtigung von Treibhausgas-Aspekten bei Förderungen auf nationaler Ebene und auf Ebene der Europäischen Union.
 - Maßnahmen zur Vermeidung von Stickstoffverlusten, die gleichzeitig zur Treibhausgas-Minderung beitragen (BGBl. II Nr. 495/2022).
 - Forcierung von Zweinutzungsriedern (Milch und Fleisch) und verstärkte Weidehaltung.
 - Ausweitung der Biolandwirtschaft.
 - Anpassung der Produktion an den Standort; Kreislaufwirtschaft.
 - Optimierte Nutzung von Wirtschaftsdüngern (z. B. mittels Güllebörsen) und deutliche Reduktion des Mineraldüngereinsatzes, im Jahr 2030 rund minus 30 % verglichen mit 2020. Nach 2030 bleibt der Einsatz von Mineraldünger konstant.

¹⁵ l_c ... charakteristische Länge: ist ein Maß für die Geometrie eines Gebäudes.

¹⁶ U-Wert ... Wärmedurchgangskoeffizient: wichtigste Messgröße für die Dämmeigenschaft eines Bauteils.

- Zuführung eines erheblichen Anteils des anfallenden Wirtschaftsdüngers zur Biomethanisierung: 30 % des Wirtschaftsdüngers im Jahr 2030 und 60 % des Wirtschaftsdüngers 2040.
- Stickstoffverluste bei der Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen werden bestmöglich vermieden (z. B. durch bodennahe Ausbringung, unmittelbares Einarbeiten in den Boden etc.).
- Ein effizienteres Stickstoffmanagement bewirkt eine deutliche Verringerung des Mineraldüngereinsatzes bis 2040 sowie einen Rückgang bei der Auswaschung von Stickstoff im Boden mit Auswirkung auf die indirekten N₂O-Emissionen. Die Leaching-Rate geht zurück.
- Gesundere Ernährung der Bevölkerung mit hochwertigen pflanzlichen Produkten; Trend zu reduziertem Fleischkonsum hält an.
- Erschließung alternativer Proteinquellen mit deutlich geringerer CO₂-Intensität (z. B. Algen, Insekten), z. B. für die Tiernahrung.
- Selbstversorgung mit erneuerbaren Energien in Gemeinden und bäuerlichen Betrieben wird gefördert.
- CO₂-Bindung durch nachhaltige Forstwirtschaft wird gefördert und Baumpflanzungen im öffentlichen Raum ausgeweitet.
- Fütterungsmaßnahmen führen bei den Rindern zu einer Reduktion der durchschnittlichen verdauungsbedingten Methan-Emissionen pro Tier.

Annahmen

- Lebensmittelabfälle werden durch bewussten Umgang mit Lebensmitteln, geeignete Packungsgrößen in Supermärkten etc.¹⁷ reduziert. Öffentliche Verteilerkühlschränke werden gefördert.
- Die Preise für Lebensmittel spiegeln Klimafreundlichkeit wider.
- Großküchen und Restaurants verwenden klimafreundliche Lebensmittel.
- Durch Anreize für eine klimafreundliche Ernährung steigt die Nachfrage nach pflanzlichen Produkten, jene nach tierischen Produkten sinkt (in Anlehnung an den nationalen Zielpfadrechner, Level 4, <http://www.klimarechner.at>).
- Der Anteil der Weidehaltung bei Rindern wird deutlich erhöht.
- Grundlagen für den Humusaufbau werden geschaffen.

neue Szenarien Agrarsektor

Parallel zum Szenario Transition wurden neue Szenarien für den Agrarsektor im Rahmen eines separaten Projektes im Auftrag des BMK und BML in Zusammenarbeit mit WIFO, BOKU, HBLFA Raumberg-Gumpenstein und AGES erstellt. Im Szenario WAM++ dieses Projektes (Umweltbundesamt, 2023c) wurden für den Sektor Landwirtschaft 30 % des Wirtschaftsdüngers im Jahr 2030 zu Biogas verarbeitet. Danach steigt der Anteil der Biomethanisierung nur langsam weiter an. Die Menge 2030 entspricht der Wirtschaftsdünger- menge im Szenario Transition, ab 2040 weist das Szenario Transition höhere Werte für die Verarbeitung von Wirtschaftsdünger zu Biogas aus (BMK, 2023).

¹⁷ Aktionsprogramm (bmk.gv.at): https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/abfallvermeidung/publikationen/aktionsprogramm.html

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BGBL	Bundesgesetzblatt
BIV	Bruttoinlandsverbrauch
CO ₂ -äq.....	Kohlendioxidäquivalente
EAG.....	Erneuerbaren Ausbau Gesetz
EEV.....	Energetischer Endverbrauch
EH	Emissionshandel
EISSEE.....	Eisen- und Stahl-Szenarien für Energie und Emissionen
EU-ETS.....	European Union Emissions Trading System
F-Gase	Fluorierte Gase
OLI	Österreichische Luftschadstoffinventur
PJ.....	Petajoule
TJ.....	Terajoule
THG	Treibhausgase

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Projektkonsortium.....	23
Abbildung 2: Bruttoinlandsverbrauch des Szenario Transition nach Energieträgerkategorien 2020–2050.....	46
Abbildung 3: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren für ausgewählte Jahre. Das Jahr 2020 basiert auf den Energiebilanzen 1970–2020.....	48
Abbildung 4: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgerkategorien für ausgewählte Jahre.	50
Abbildung 5: Relative Anteile der Energieträger am energetischen Endverbrauch für ausgewählte Jahre.....	51
Abbildung 6: Energetischer Endverbrauch der Industrie nach Energieträgerkategorien für ausgewählte Jahre.....	53
Abbildung 7: Energetischer Endverbrauch für den Sektor Gebäude für ausgewählte Jahre.	55
Abbildung 8: Vergleich der spezifischen Kosten der verschiedenen Erzeugungsrouten der Stahlherstellung (Berechnung: Umweltbundesamt).....	59
Abbildung 9: Anstieg der jährlichen Stromerzeugung aus Wind und PV für ausgewählte Jahre.	61
Abbildung 10: Stromerzeugung nach Energieträgern für ausgewählte Jahre. ...	62
Abbildung 11: Veränderungen makroökonomischer Größen im Szenario Transition gegenüber dem Referenzszenario WEM.....	70
Abbildung 12: Veränderungen des verfügbaren Einkommens nach Quintilen im Szenario Transition gegenüber dem Szenario WEM.	71
Abbildung 13: Entwicklung der THG-Emissionen nach Sektoren 1990 bis 2050.....	75
Abbildung 14: Kohlenstoffintensität der Wertschöpfung in Österreich 2020 bis 2050.	77

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Grundlegende Parameter für die Modellierung des Szenario Transition	25
Tabelle 2:	Bruttoinlandsverbrauch für ausgewählte Jahre	47
Tabelle 3:	Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgerkategorien für ausgewählte Jahre	47
Tabelle 4:	Energetischer Endverbrauch nach Sektoren.....	49
Tabelle 5:	Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern	50
Tabelle 6:	Umschlüsselung des energetischen Endverbrauchs des Bereiches Offroad von Verkehr zu anderen Sektoren.....	51
Tabelle 7:	Energetischer Endverbrauch im Verkehr für ausgewählte Jahre	52
Tabelle 8:	Energetischer Endverbrauch der Industrie für ausgewählte Jahre	54
Tabelle 9:	Energetischer Endverbrauch ausgewählter Industriebranchen für ausgewählte Jahre	54
Tabelle 10:	Energetischer Endverbrauch von Gebäuden für ausgewählte Jahre	56
Tabelle 11:	Energetischer Endverbrauch der Haushalte für ausgewählte Jahre	56
Tabelle 12:	Energetischer Endverbrauch von Dienstleistungen für ausgewählte Jahre	57
Tabelle 13:	Energetischer Endverbrauch der Landwirtschaft für ausgewählte Jahre.	57
Tabelle 14:	Energiebedarf der Eisen- und Stahlindustrie für ausgewählte Jahre im Szenario Transition ^{*,**}	59
Tabelle 15:	Strombedarf der Sektoren Verkehr, Industrie, Gebäude und Landwirtschaft, der Verbrauch des Sektors Energie und Transportverluste für ausgewählte Jahre	60
Tabelle 16:	Stromerzeugung nach Energieträgern für ausgewählte Jahre ...	63
Tabelle 17:	Fernwärmebedarf für ausgewählte Jahre.....	63
Tabelle 18:	Fernwärmeerzeugung für ausgewählte Jahre.....	64
Tabelle 19:	Nichtenergetischer Verbrauch nach Energieträgern für ausgewählte Jahre	65

Tabelle 20:	Wasserstoffverbrauch nach Sektoren für ausgewählte Jahre. ...	66
Tabelle 21:	Biomasseeinsatz nach Sektoren für ausgewählte Jahre.....	68
Tabelle 22:	Biomethaneinsatz nach Sektoren für ausgewählte Jahre	68
Tabelle 23:	Erdgaseinsatz nach Sektoren für ausgewählte Jahre.....	69
Tabelle 24:	Die elf Wirtschaftszweige im Szenario Transition die zentral für die Transformation sind und deren Wertschöpfungsabweichungen zwischen 2023 und 2040 gegenüber dem Szenario WEM.....	72
Tabelle 25:	Treibhausgasemissionen nach Sektoreinteilung des Klimaschutzgesetzes für das Szenario Transition für ausgewählte Jahre	76

6 LITERATUR

- AEA, 2021. *Erneuerbares Gas in Österreich 2040. Quantitative Abschätzung von Nachfrage und Angebot*. Österreichische Energieagentur (AEA). Wien.
- BGBL. I NR. 10/2022. *Bundesgesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Treibhausgasemissionen. Nationales Emissionszertifikatehandelsgesetz - NEHG* [online] [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20011818>
- BGBL. I NR. 106/2011. *Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz. Klimaschutzgesetz – KSG* [online] [Zugriff am: 16. November 2023]. Verfügbar unter: <https://ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007500&FassungVom=2023-09-20>
- BGBL. I NR. 144/2011. *Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid sowie Änderung des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes 2000, des Bundes-Umwelthaftungsgesetzes, der Gewerbeordnung 1994 sowie des Mineralrohstoffgesetzes* [online] [Zugriff am: 22. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20007616/Verbot%20der%20geologischen%20Speicherung%20von%20Kohlenstoffdioxid%2c%20Fassung%20vom%2022.12.2022.pdf>
- BGBL. I NR. 150/2021. *Bundesgesetz über den Ausbau von Energie aus erneuerbaren Quellen. Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz – EAG* [online] [Zugriff am: 29. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20011619>
- BGBL. II NR. 495/2022. *Nitrat-Aktionsprogramm-Verordnung. NAPV* [online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2022/495/20221227>
- BGBL. III NR. 197/2016. *Übereinkommen von Paris. Übereinkommen von Paris* [online] [Zugriff am: 10. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/III/2016/197>
- BKA, 2020. *Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020–2024* [online]. Wien [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/bundeskanzleramt/die-bundesregierung/regierungsdokumente.html>
- BMAW, 2021. *IPCEI – Important Projects of Common European Interest* [online]. 15. Dezember 2022 [Zugriff am: 15. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.bmaw.gv.at/Themen/Wirtschaftsstandort-Oesterreich/IPCEI.html>

- BMK, 2021a. *Die österreichische Kreislaufwirtschaft. Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft* [online]. Wien [Zugriff am: 29. November 2022]. Verfügbar unter:
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html
- BMK, 2021b. *Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich. Der neue Klimaschutz-Rahmen für den Verkehrssektor Nachhaltig - resilient - digital* [online]. Wien [Zugriff am: 29. November 2022]. Verfügbar unter:
<https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html>
- BMK, 2022a. *F&E Roadmap Geothermie – 2022* [online] [Zugriff am: 2. Januar 2023]. Verfügbar unter:
https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/BMK_Geothermie_Roadmap.pdf
- BMK, 2022b. *ÖBB-Rahmenplan 2023-2028* [online] [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter:
https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/ausbauplan/plan_oebb.html
- BMK, 2022c. *Wasserstoffstrategie für Österreich* [online]. 15. Dezember 2022 [Zugriff am: 15. Dezember 2022]. Verfügbar unter:
<https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/wasserstoff/strategie.html>
- BMK, 2023. *ÖNIP. Integrierter österreichischer Netzinfrastukturplan* [online]. Entwurf zur Stellungnahme. Verfügbar unter:
<https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/netzinfrastukturplan.html>
- BMK, 23. Dezember 2022. *Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie* [online]. Wien [Zugriff am: 23. Dezember 2022]. Verfügbar unter:
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html
- CAVALIERE, P., 2022. *Hydrogen Assisted Direct Reduction of Iron Oxides* [online] [Zugriff am: 27. Dezember 2022]. Verfügbar unter:
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-98056-6>
- CESAR, 2020. *MIO-ES: A Macroeconomic Input-Output Model with Integrated Energy System* [online]. Centre of Economic Scenario Analysis and Research (CESAR). Wien [Zugriff am: 20. Dezember 2022]. Verfügbar unter:
https://www.cesarecon.at/wp-content/uploads/2020/10/MIOES_Manual_Public_FINAL.pdf
- EHB, 2022. *The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative | EHB European Hydrogen Backbone* [online]. 15. Dezember 2022 [Zugriff am: 15. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.ehb.eu/>

- E-THINK, 2023. *Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher. Endbericht*. Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think). Wien.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2020. *Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität: Den Verkehr in Europa auf Zukunftskurs bringen. COM(2020) 789 final* [online] [Zugriff am: 10. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0789&from=ES>
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2021. *EU Reference Scenario 2020. Energy, transport and GHG emissions : trends to 2050* [online]. Luxembourg [Zugriff am: 10. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/96c2ca82-e85e-11eb-93a8-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-219903975>
- EUROSTAT, 2023a. *Glossary: Final energy consumption/de* [online]. 22. September 2022 [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Final_energy_consumption/de
- EUROSTAT, 2023b. *Glossary: Gross inland energy consumption/de* [online]. 22. September 2022 [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_inland_energy_consumption/de
- EWG 212/ME. *Ministerialentwurf Bundesgesetz zum Ausstieg aus der fossil betriebenen Wärmebereitstellung. Erneuerbare-Wärme-Gesetz - EWG* [online] [Zugriff am: 30. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.parlament.gv.at/gegenstand/XXVII/ME/212#tab-Uebersicht?selectedStage=100>
- ITNA, 2023. *Monitoring Mechanism 2022 und Szenario Transition - Verkehr. (nicht veröffentlicht)*. Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme (ITnA). Graz.
- IVV, 2017. *Modellierung von Personenverkehrsmaßnahmen im Rahmen der Energiewirtschaftlichen Szenarien im Hinblick auf die Klimaziele 2030 und 2050 (ENSZEN17)*. Institut für Verkehrswissenschaften (IVV). TU Wien. Wien.
- STATISTIK AUSTRIA, 2021a. *Bevölkerungsprognosen für Österreich und die Bundesländer* [online] [Zugriff am: 30. November 2022]. Verfügbar unter: <https://statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/demographische-prognosen/bevoelkerungsprognosen-fuer-oesterreich-und-die-bundeslaender>
- STATISTIK AUSTRIA, 2021b. *Energiebilanzen* [online] [Zugriff am: 29. November 2022]. Verfügbar unter: <https://statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/energiebilanzen>

UMWELTBUNDESAMT, 2023a. *Certification of Carbon Removals. Part 1: Synoptic review of carbon removal solutions* [online]. Umweltbundesamt. Wien. REP-0795 [Zugriff am: 20. November 2023]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0795.pdf>

UMWELTBUNDESAMT, 2023b. *Flächenbasierte Potenzialabschätzungen für erneuerbare Energieträger (Wind, PV, Wasser, Holz, Biogas) für den Nationalen Infrastrukturplan 2023 gemäß §94, EAG (nicht veröffentlicht)*.

UMWELTBUNDESAMT, 2023c. *Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes. Emissionsszenarien* [online]. Wien. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0856.pdf>

VO (EU) 2018/1999. *Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz*. [online] [Zugriff am: 11. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1999>

ANHANG 1 – KOPPLUNG DER MODELLE UND KURZBESCHREIBUNGEN DER MODELLE

Modell MIO-ES – CESAR/Umweltbundesamt

Das Szenario Transition wurde mit einem sogenannten „hybriden“ makroökonomischen Input-Output-Modell der österreichischen Volkswirtschaft berechnet, das das österreichische Energiesystem voll integriert (MIO-ES)¹⁸ und folgende Charakteristika aufweist:

Charakterisierung und Systemgrenzen

- Der Input-Output-Kern des Modells gliedert die wirtschaftlichen Aktivitäten der österreichischen Unternehmen und Haushalte nach 79 Wirtschaftszweigen und 14 Kategorien des Privatkonsums. An Ergebnissen kann das Modell daher – neben den auf nationaler Ebene vorliegenden Hauptaggregaten der österreichischen Volkswirtschaft (Investitionen, privater und öffentlicher Konsum sowie Netto-Exporte) – die Effekte des Szenarios auf Wertschöpfung und Beschäftigung auf Branchenebene ausweisen.
- Datenbasis Statistik Austria: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen (VGR), Input-Output-Tabelle 2014, Konsum- und Arbeitskräfteerhebung 2014–2015; EU SILC (European Union Statistics on Income and Living Conditions); aktuellste Energiebilanz (2020/21).
- Die Modellergebnisse umfassen außerdem die Verteilungswirkungen des Szenarios, da die Haushalte – sowohl verfügbares Einkommen als auch Konsumausgaben betreffend – auf der Ebene von zehn Haushaltseinkommensgruppen (Dezile) modelliert sind.
- Die Einnahmen und Ausgaben des Staates sind konsistent mit den Kategorien der Europäischen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen ESVG modelliert, sodass auch die Auswirkungen des Szenarios auf das öffentliche Defizit und den Schuldenstand des Staates vorliegen.

Energiesystem

- Die österreichische Energiebilanz ist in physischen Einheiten für 26 Energieträger voll in das ökonomische Modell in monetären Einheiten integriert und stellt alle Transformationsvorgänge von der Primärenergie bis hin zum energetischen Endverbrauch dar.
- Die Energievariablen sind über Preise und Konvertierungsfaktoren mit den monetären Größen des Modells verbunden, sodass jede Veränderung im Energiesystem eine Entsprechung in ökonomischen Variablen hat und um-

¹⁸ *Makroökonomisches Input-Output-Modell mit integriertem Energiesystem*, siehe auch Modellbeschreibung im Anhang.

gekehrt. Somit kann das Modell nicht nur ökonomische Feedback-Wirkungen, sondern auch Wechselwirkungen zwischen ökonomischem System und Energiesystem abbilden.

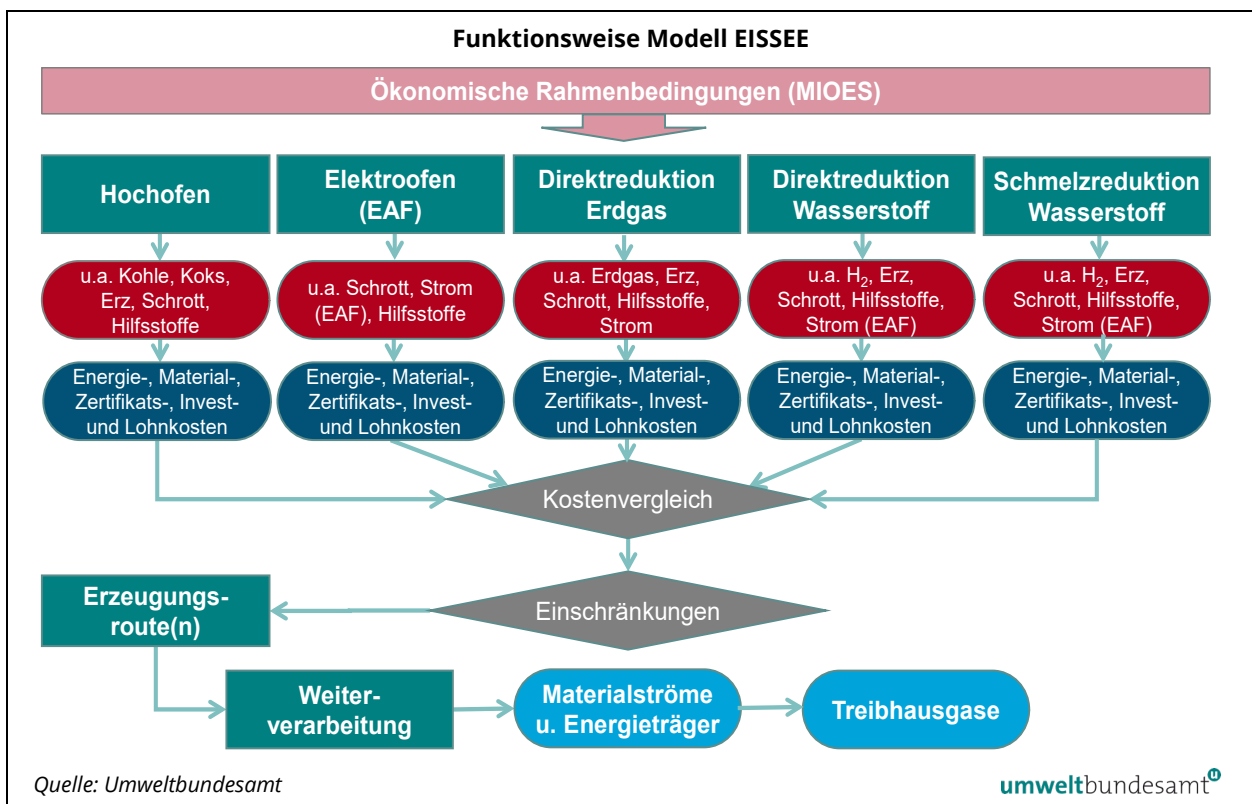
- Die Integration des Energiesystems ermöglicht außerdem eine Ankopplung von Teilmodellen für die Sektoren Verkehr, Stromerzeugung, Raumwärme und Industrie anhand definierter Schnittstellen. Auf diese Weise werden derzeit Ergebnisse aus den in weiterer Folge beschriebenen Modellen (EISSEE, INVERT/EE-Lab, NEMO) in das MIO-ES-Modell integriert.

Modell EISSEE – Umweltbundesamt

Eisen- und Stahlherstellung

Der Umwandlungseinsatz in der Eisen- und Stahlherstellung sowie der Verbrauch des Sektors Energie und der energetische Endverbrauch wurden mit einem technologie- und kostenbasierten Modell des Umweltbundesamtes (EISSEE¹⁹) auf Basis der Wirtschaftsentwicklung ermittelt. Die Bilanzaggregate wurden mit dem volkswirtschaftlichen Modell MIO-ES (CESAR, 2020) abgestimmt. Abbildung A1 veranschaulicht die Funktionsweise des Modells.

Abbildung A1: Funktionsweise Modell EISSEE (Subsektor Eisen- und Stahlherstellung).



EAF...Electric Arc Furnace

¹⁹ EISSEE: Eisen- und Stahl-Szenarien für Energie und Emissionen.

Annahmen Eisen- und Stahlproduktion

Für die Herstellung von Rohstahl (ohne Weiterverarbeitung) wurden fünf Erzeugungsrouten betrachtet, wobei mittels Kostenmodells entschieden wurde, welche Technologie zum Einsatz kommt. Die Energie- und Materialströme wurden anhand von Input-Output-Bilanzen ermittelt, wobei die zeitliche Entwicklung nach Datenverfügbarkeit berücksichtigt wurde. Inputdaten sind Energie- und Materialströme und Kostendaten zu Energie und Material, Investitionen und Löhnen sowie ETS-Zertifikaten. Wesentliche Datengrundlage sind Statistik Austria, Worldsteel, BAT-Referenzdokumente und Fachliteratur (Cavaliere, 2022). Die Weiterverarbeitung von Rohstahl zu Produkten wird getrennt modelliert. Einschränkungen, wie Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren oder Verfügbarkeit und Verarbeitungskapazität von Schrott, wurden berücksichtigt. Weitere wesentliche Parameter und Annahmen sind in Tabelle A1 zusammengefasst.

Tabelle A1: Treibhausgasemissionen des Szenario Transition von 1990 bis 2050 mit relativen Jahresvergleichen.

Prozess	Elektrostahl	Hochofenroute	Schmelzreduktion	Direktreduktion mit Wasserstoff oder Erdgas
Systemgrenzen und Rahmenbedingungen	Elektroofen	Kokerei, Sinteranlage, Hochofen, Stahlwerk Strom- und Fernwärmeproduktion als Export, Export von Restgasen (Kokerei-, Gichtgas) wie Erdgas berücksichtigt	Grundsätzlich Einsatz von heimischen Erzen möglich, ab 2035 nicht mehr kosteneffizient	Direktreduktion prinzipiell mit Erdgas, H ₂ und synthetischem CH ₄ möglich Heißeinsatz von Direktreduktioneisen in Elektroofen Einsatz von heimischen Erzen nicht möglich
Reduktionsmittel- bzw. Energieeinsatz	Bestehende Anlagen: Effizienzverbesserung Neue Anlagen: Berechnung anhand ETS Benchmark; Effizienzverbesserung	14 GJ Reduktionsmittel pro Tonne Roheisen; Effizienzverbesserung	Auf Grund der Eigenschaften von Wasserstoff-Plasma werden für das Schmelzreduktionsverfahren Energieeinsparungen erwartet (Cavaliere, 2022). Gegenüber dem Gesamtenergieverbrauch des Direktreduktionsverfahrens werden diese Energieeinsparungen mit 10 % angenommen.	11 GJ pro Tonne Direktreduktioneisen (DRI) ¹²²⁰ , Effizienzverbesserung, Verarbeitung von DRI zu Stahl wie Elektrostahl
Schrotteinsatz (bezogen auf den Einsatz von Eisenträgern)	Für die Primärherstellung wurde aus Vergleichszwecken ein konstanter Schrotteinsatz von 25 % angenommen			

²⁰ Ohne Berücksichtigung der Wasserstoffherstellung.

Modell INVERT/EE-Lab – e-think

Die Modellierung des Energiebedarfs von Raumwärme und Warmwasserbereitung sowie Kühlung in Gebäuden der Privathaushalte und Dienstleistungen wurde von e-think durchgeführt (e-think, 2023).

Charakterisierung und Systemgrenzen

- Weiterentwicklung für Österreich aus dem Modell INVERT (Einsatz von Fördermitteln im Vergleich zu einem Referenzszenario, siehe www.invert.at).
- Simulationsmodell – Bottom-up-Modellierung.
- Modellierungsumfang bzw. Systemgrenzen: Gebäudebestand Österreichs (Heizung, Warmwasser), wobei die Sektoren Haushalte und Dienstleistungen (Wohngebäude und Nichtwohngebäude) abgebildet werden.
- Das Modell besteht im Wesentlichen aus einer disaggregierten Abbildung des Bestandes an Gebäuden in Österreich. Dieser Gebäudebestand wird zunächst in Gebäudeklassen (Alter, Größe, Renovierungsstand) abgebildet, die wiederum in mehrere Gebäudesegmente (Kombination mit Heiz- und Warmwassersystemen und Modellregionen: Stadt bzw. Land) unterteilt werden. Die Gebäudesegmente werden im Modellalgorithmus einem jährlichen Entscheidungsverfahren unterzogen, um Technologien bzw. Maßnahmen (neue Heiz- und Warmwassersysteme, Dämmung Bauteile, Fenstertausch) einzusetzen. Ausgewählt wird die Maßnahme, die unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte am attraktivsten erscheint, wobei nicht-ökonomische Entscheidungsparameter über einen stochastischen Verteilungsansatz berücksichtigt werden.
- Datenstand für Österreich: 2012.

Inputdaten

- Preisszenarien für Energieträger.
- Fördersysteme bzw. -höhen.
- Gebäudebestand (Teil des Modells).
- Investitions- und Betriebskosten von Heizsystemen und Sanierungsmaßnahmen (Teil des Modells).
- Neubauraten.

Outputdaten

- Endenergiebedarf nach Energieträgern.
- Sanierungsraten ergeben sich endogen bis zu allfällig definierten Höchstgrenzen für verschiedene Maßnahmen und Gebäudetypen.
- Investitionssummen für Heizsystemwechsel bzw. energetische Sanierungsmaßnahmen.
- Ausgaben für Energieträger.
- Förderkosten.

Anwendung und Referenzen

Umfassendere Analysen zu alternativen energiepolitischen Instrumenten bzw. deren Ausgestaltungen wurden von den Autor:innen im Projekt ENTRANZE (IEE/11/922/SI2.615942) durchgeführt (Kranzl et al., 2010, 2011, Müller und Biermayr, 2011).

Modell MARS – TU Wien/IVV

Im Rahmen verschiedener Projekte wurde im Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik des Instituts für Verkehrswissenschaften (IVV) der Technischen Universität Wien das dynamische, integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsmodell MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) entwickelt (Pfaffenbichler 2003, 2008).

System Dynamics MARS ist ein dynamisches, integriertes Flächennutzungs- und Verkehrsmodell. Das heißt MARS modelliert nicht den Gleichgewichtszustand eines Zieljahres, sondern vielmehr den Pfad dorthin iterativ in diskreten Zeitschritten. Die technischen Grundlagen von MARS liegen in der Disziplin „System Dynamics“, welche in den 1950er Jahren von John Forrester und Kolleg:innen am MIT begründet wurde. MARS

- ist sowohl ein qualitatives als auch ein quantitatives Modell,
- ist ein strategisches und daher räumlich relativ hoch aggregiertes Modell,
- kann sowohl als urbanes als auch als regionales oder nationales Modell verwendet werden,
- ist ein transparentes Modell („White Box“ im Gegensatz zu „Black Box“),
- berücksichtigt neben den motorisierten auch die nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer:innen.

Weiters versucht MARS alle relevanten Rückkopplungen sowohl innerhalb des Verkehrssystems als auch zwischen Verkehr und Raum zu berücksichtigen. Eine detaillierte Beschreibung findet sich im Endbericht des IVV der TU Wien zu den Projektionen (IVV, 2017).

Das Verkehrsmodell deckt entsprechend dem strategischen Charakter nur die ersten drei Stufen eines klassischen vierstufigen Verkehrsmodells ab. Diese sind:

- Verkehrserzeugung,
- Verkehrsverteilung, d. h. Zielwahl, und
- Verkehrsaufteilung, d. h. Verkehrsmittelwahl.

Auf die Stufe der Verkehrsumlegung, d. h. Routenwahl, wurde aufgrund des strategischen Charakters und der Anforderung kurzer Laufzeiten bewusst verzichtet.

Inputdaten

- Skalardaten des Basisjahres gültig im gesamten Untersuchungsgebiet, wie Arbeitsstunden je Monat (h/m), Geschwindigkeit verschiedener Wegzwecke (km/h), Kosten MIV (motorisierter Individualverkehr) (Euro/km) etc.,
- Vektordaten auf Ebene der Verkehrszelle (Bezirk), wie Fläche (km²), Anzahl der Einwohner:innen, Anzahl der Beschäftigten am Wohnstandort, Personen je Haushalt, Haushaltseinkommen (Euro/Monat) etc.,
- Matrixdaten zwischen den Verkehrszellen (Bezirken), wie durchschnittliche Entfernung zu Fuß, mit dem Fahrrad, dem Bus, der Bahn und dem MIV (km), durchschnittliche Geschwindigkeit Bus, Bahn und MIV zur Spitzenstunde und außerhalb der Spitzenstunde (km/h) etc.,
- Zeitreihe Szenariovariablen Gesamtösterreich, wie Anteil E-PKW (%), Verbrauch E-PKW, Strompreis (Euro/kWh), Veränderung des PKW-Besetzungsgrades (% p. a.),
- Wachstumsraten auf Ebene der Verkehrszelle (Bezirk), wie Veränderung der Zahl der Einwohner:innen (% p. a.), Veränderung der Zahl der Personen je Haushalt (% p. a.), Veränderung des Haushaltseinkommens (% p. a.) etc.,
- Änderungsraten auf Ebene der Matrix Verkehrszelle – Verkehrszelle wie Entfernung motorisierter Individualverkehr (% p. a.), Geschwindigkeit im öffentlichen Verkehr (% p. a.).

Outputdaten

- Modal Split nach Wegen,
- Personenkilometer nach Verkehrsmittel,
- PKW-Fahrleistungen nach Straßenkategorie innerorts, über Land oder außerhalb und Autobahn.

Interaktion der Modelle

- Im Szenario Transition ist die Interaktion der zwei Modelle NEMO und MARS für die Abschätzung des energetischen Endverbrauchs des Personenverkehrs von besonderer Bedeutung. Die Maßnahmensimulation im Personenverkehr erfolgte dabei mit dem Modell MARS in enger Abstimmung mit dem Umweltbundesamt. Die resultierenden PKW-Fahrleistungsdaten wurden vom IVT der TU Graz für die Bedatung des Modells NEMO verwendet.
- Die im Endbericht des IVV dargestellten Ergebnisse aus MARS sind Standard-Ergebnisse bei Einführung aller Maßnahmen zwischen 2020 und 2030. Für die Endversion des Szenarios Transition wurde die Einführung einiger Maßnahmen nach hinten verschoben bzw. verlängert. Das Potenzial erstreckt sich in den Endergebnissen auf 30 Jahre, nicht wie im MARS-Modell ursprünglich angenommen auf zehn Jahre.

Modell NEMO – TU Graz/ITnA

Daten Die Projektionen erfolgten erstmals mit dem Simulationsprogramm NEMO (Network Emission Model). NEMO wurde am Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme der TU Graz für die Berechnung von Emissionsausstoß und Energieverbrauch auf Verkehrsnetzen nach dem aktuellsten Stand der wissenschaftlichen Methoden entwickelt. Nachfolgend sind die Methoden und Funktionalitäten kurz dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in den Endberichten des ITnA der TU Graz (ITnA, 2023).

Charakterisierung und Systemgrenzen

Die Bilanzierung erfolgt dynamisch in Jahresschritten über frei wählbare Berechnungszeiträume. NEMO verknüpft eine detaillierte Berechnung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte mit fahrzeugfeiner Verbrauchs- und Emissionsimulation. In einem ersten Schritt berechnet NEMO die Zusammensetzung der inländischen Fahrzeugflotte nach Bestands- und Fahrleistungsanteilen. Die Unterteilung der Fahrzeugflotte in sogenannte Fahrzeugschichten basiert auf Bestandsstatistiken und erfolgt dabei nach emissions- bzw. energieverbrauchsrelevanten Kriterien.

KEX-Modul (Kraftstoff-Export-Tool)

Kraftstoffverbrauch Inland und Ausland

KEX ist ein Tool zur Schätzung der Änderung der Inlandsnachfrage und des Kraftstoffexportes in Kfz. KEX verwendet als unabhängige Variablen BIP, Bevölkerung, Exportquote sowie Benzin- und Dieselpreise im In- und Ausland. Berechnet wird damit die Menge an Verbrauch österreichischen Kraftstoffes im In- und Ausland. KEX wird in den Szenarien verwendet, um die zukünftige Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Inland als Funktion von BIP, Bevölkerung und Kraftstoffpreisen abzubilden und um die zukünftigen Mengen an in Kfz exportiertem Kraftstoff zu berechnen. Der Inlandsverbrauch wird mit dem Verkehrsmodell NEMO aus der Verkehrsnachfrage berechnet (KEX umfasst dazu ein sehr vereinfachtes statistisches Tool, während NEMO die vorgegebenen Technologien bei Kfz-Neuzulassungen, deren Flottendurchdringung und die Effekte auf Verbrauch und Emissionen abbildet).

Für die KEX-Prognose wurde in dieser Studie die historische Abweichung von KEX-Modell und tatsächlichem Kraftstoffverkauf berücksichtigt, um damit Sprünge von der aktuellen Österreichischen Luftschadstoffinventur (OLI) hin zur Prognose bestmöglich zu vermeiden.

Inputdaten

- Fahrzeugkategorie (z. B. PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Solo-Lkw etc.),
- Antriebsart (z. B. Ottomotoren, Dieselmotoren, elektrische Antriebe),
- Größenklasse (Unterscheidungsmerkmal z. B. Hubraum oder höchstzulässiges Gesamtgewicht),

- Technologieklasse (i. A. Gesetzgebung, nach der das Fahrzeug erstzugelassen wurde, gegebenenfalls in Kombination mit der eingesetzten Technologie, z. B. bei SNF „EURO V mit SCR“),
- zusätzliche (nachgerüstete) Abgasnachbehandlungssysteme (z. B. Partikel-Katalysator),
- verwendeter Kraftstoff,
- spezifischer Energieverbrauch der Kfz (Benzin, Diesel bzw. elektrische Energie je Kfz- bzw. Personen- oder Tonnenkilometer),
- spezifische Emissionsfaktoren,
- spezifische Jahresfahrleistung.

Outputdaten

- Gesamte Jahresfahrleistungen,
- gesamte Verkehrsleistungen (Personen- und Tonnenkilometer),
- gesamter Energieverbrauch des Straßenverkehrs,
- gesamte Emissionen der Kfz-Flotte; berechnet werden die Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O sowie alle gängigen Luftschadstoffe (NO_x, Partikel, SO₂, NMVOC usw.) sowie Verdunstungsemissionen.

Modell GEORG – TU Graz/ITnA

Energieeinsatz und Emissionen mobiler Maschinen

Der Energieeinsatz und die Emissionen mobiler Maschinen und Geräte der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Industrie, Haushalte und im Gartenbereich werden für das Bundesgebiet Österreich mit dem Modell GEORG (Grazer Emissionsmodell für Offroad-Geräte) berechnet.

Charakterisierung und Systemgrenzen

- Die Bestandsmodellierung erfolgt automatisch in Jahresschritten.
- Die Emissionsfaktoren werden nach Jahrgängen der Erstzulassung vorgegeben („Abgasklassen“).
- Die Abhängigkeit des Emissionsniveaus von der Motorenart, der tatsächlich benötigten Motorleistung, dem Baujahr des Motors, der jährlichen Einsatzzeit und vom Alter des Gerätes wird berücksichtigt.

Inputdaten

- Gesamtbestand,
- Ausfallwahrscheinlichkeiten,
- Neuzulassungsanteile nach Motorenart.

Outputdaten

- Das Programm GEORG ermittelt die Altersstruktur des Bestandes über Ausfallwahrscheinlichkeiten. Es wird dabei der Bestand für jede Kategorie nach Jahr der Erstzulassung und Antriebsart (Diesel >80 kW, Diesel <80 kW, Otto-Viertakt, Otto-Zweitakt) berechnet.
- Die gesamten Emissionen und der Kraftstoffverbrauch werden aus Emissionsfaktoren [g/kWh Motorleistung] berechnet. Die durchschnittliche Motorleistung wird dabei für jede Fahrzeugkategorie vorgegeben.

ANHANG 2 – GRUNDLEGENDE PARAMETER FÜR DAS SZENARIO TRANSITION

Tabelle A2:
Grundlegende Parameter für die Modellierung des Szenarios Transition
(Quellen: Statistik Austria, 2021b, Umweltbundesamt).

Parameter	2020	2030	2040	2050
Bevölkerung [Mio.]	8,92	9,25	9,47	9,63
Anzahl der Haushalte [Mio.]	3,98	4,21	4,38	4,50
Internat. Ölpreis [€₂₀₂₀²¹/BOE²²]	37	88	93	112
Internat. Ölpreis [€₂₀₂₀/GJ]	6,4	15,4	16,2	19,7
Internat. Gaspreis [€₂₀₂₀/GJ]	3,1	11,3	11,3	11,8
Internat. Kohlepreis [€₂₀₂₀/GJ]	1,6	3,1	3,32	3,65
CO₂-Preis im EU-ETS [€₂₀₂₀/t CO₂]	24	200	400	500
CO₂-Preis in non-ETS-Sektoren [€₂₀₂₀/t CO₂]	-	170	400	500
Wertschöpfung* [Mrd. €₂₀₂₀]	342	411	473	531

* Wert für 2020 ist entnommen aus <https://www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/volkswirtschaftliche-gesamtrechnungen>, die Werte 2030, 2040, 2050 sind Modellergebnisse

²¹ €₂₀₂₀: reale Eurobeträge bezogen auf das Jahr 2020.

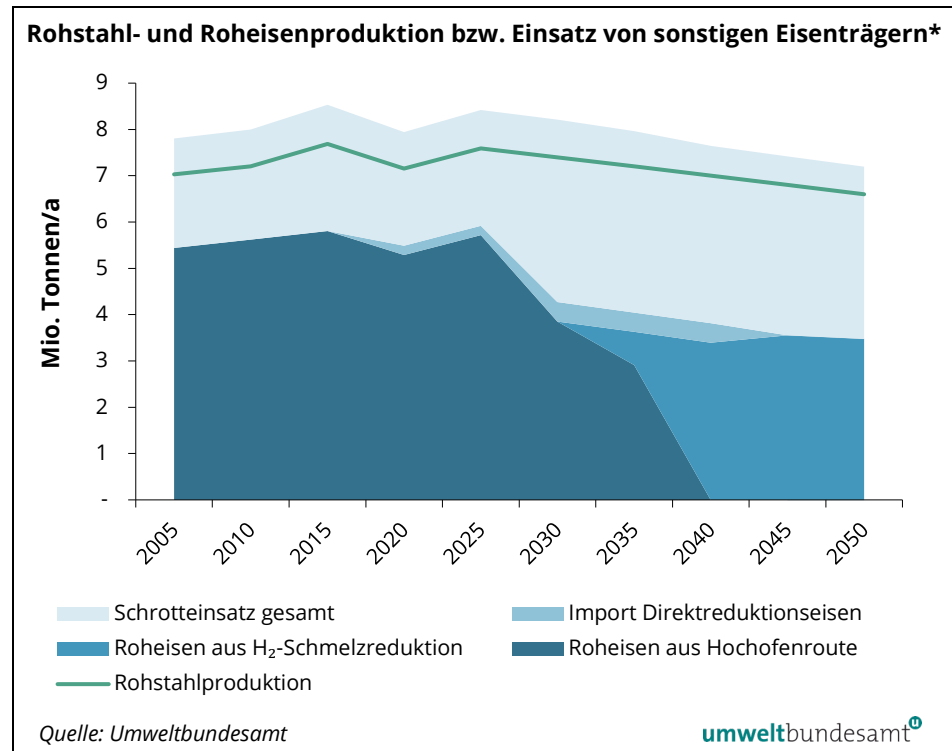
²² BOE: barrel oil equivalent oder Barrel Öläquivalent (1 Barrel = 159 Liter).

ANHANG 3 – DETAILERGEBNISSE EISEN- UND STAHLERZEUGUNG

Anhand des in Kapitel 3.3 beschriebenen kostenbasierten Technologiemodells EISSEE wurden Energiebedarf und Treibhausgasemissionen für die Eisen- und Stahlindustrie berechnet. Die in Kapitel 3.3 angeführten Ergebnisse für den Energiebedarf im Szenario Transition werden hier mit weiteren Ergebnissen ergänzt.

Im Szenario Transition wird ein Teil der Herstellung durch die Hochofenroute bis 2030 stufenweise durch die Herstellung von Elektrostahl ersetzt, womit auch der Schrotteinsatz (bezogen auf den Einsatz von Eisenträgern) von derzeit etwa 30 % auf etwa 50 % ansteigt. Die Produktion von Elektrostahl steigt damit von derzeit etwa 0,7 Mio. Tonnen auf knapp 3 Mio. Tonnen an. Es ist dabei jedoch davon auszugehen, dass aufgrund der Produktqualität und auch der Verfügbarkeit das Elektrostahlverfahren die Stahlherstellung aus Eisenerzen (Primärproduktion) nicht vollständig ersetzen kann und somit eine Primärproduktion weiterhin erforderlich sein wird. Hier wird bis 2040 die Hochofenroute stufenweise durch Verfahren auf Basis von Wasserstoff ersetzt. Es wird dabei angenommen, dass das derzeit in Entwicklung befindliche Schmelzreduktionsverfahren aufgrund von Effizienzvorteilen umgesetzt wird. Der Einsatz von wasserstoffbasierten Verfahren ist aber grundsätzlich nicht von der Entwicklung des Schmelzreduktionsverfahrens abhängig und auch auf Basis der Direktreduktion mit Wasserstoff möglich. Der Schrotteinsatz bei Primärverfahren wird dabei auf Basis der aktuellen Situation gleichbleibend angenommen. Durch die Herstellung von wasserstoffbasierten Verfahren vor Ort wird der Import von Direktreduktionseisen nach 2040 eingestellt.

Abbildung A2:
Rohstahl- und Roheisen-
produktion bzw. Einsatz
von Schrott und Direkt-
reduktionseisen



* Durch Verluste ist die Summe aus Roheisenproduktion und anderen Eisenträgern höher als die Stahlproduktion.

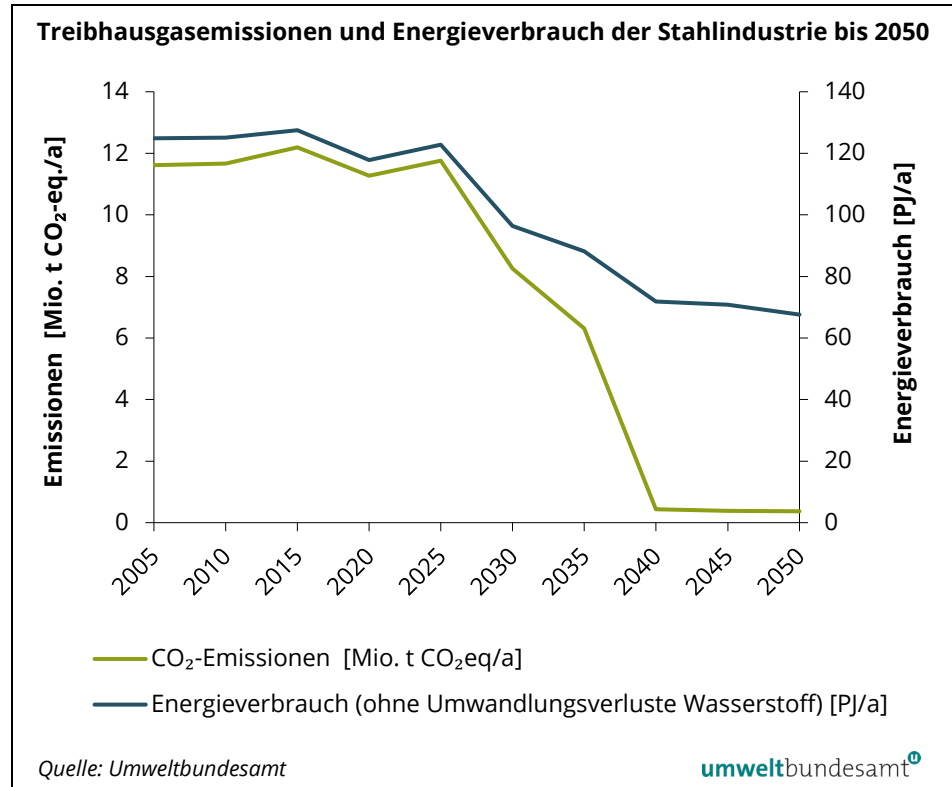
Der Gesamtenergieeinsatz ergibt sich aus der Herstellung von Flüssigstahl (Verbrauch des Sektors Energie), der Sinteranlage und der Weiterverarbeitung von Stahl (energetischer Endverbrauch) und Umwandlungsverlusten. Letztere ergeben sich bei der Hochofenroute aus der Herstellung von Koks aus Kohle und der Umwandlung von Koks in Gichtgas im Hochofen. Umwandlungsverluste aus der Herstellung von Wasserstoff aus Strom werden hier nicht berücksichtigt, da diese Umwandlung außerhalb des Industriesektors erfolgt bzw. Wasserstoff importiert wird. Die Umwandlungsverluste der Herstellung von Wasserstoff aus Strom und Umwandlungsverluste der Hochofenroute sind grundsätzlich in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die Reduktion des Energieeinsatzes bis 2030 ist vor allem durch den Ersatz der Hochofenroute durch das effizientere Elektrostahlverfahren bedingt. Die weitere Reduktion des Energieverbrauchs zwischen 2030 und 2040 ist vor allem durch den Umstand bedingt, dass die Umwandlung von Wasserstoff nicht im Sektor Industrie zu berücksichtigen ist. Auch geht der Energieeinsatz durch einen Rückgang der Produktion zurück.

Die Treibhausgasemissionen gehen bis 2030 vor allem durch den teilweisen Ersatz der Hochofenroute durch das Elektrostahlverfahren zurück. Im Zeitraum 2030 bis 2040 ist die weitere Reduktion der Emissionen vor allem durch den zunehmenden Einsatz der wasserstoffbasierten Stahlproduktion bedingt. Auch ist in diesem Zeitraum davon auszugehen, dass der Einsatz von heimischen Erzen mit vergleichsweise hohen CO₂-Emissionen aufgrund der Zertifikatskosten nicht

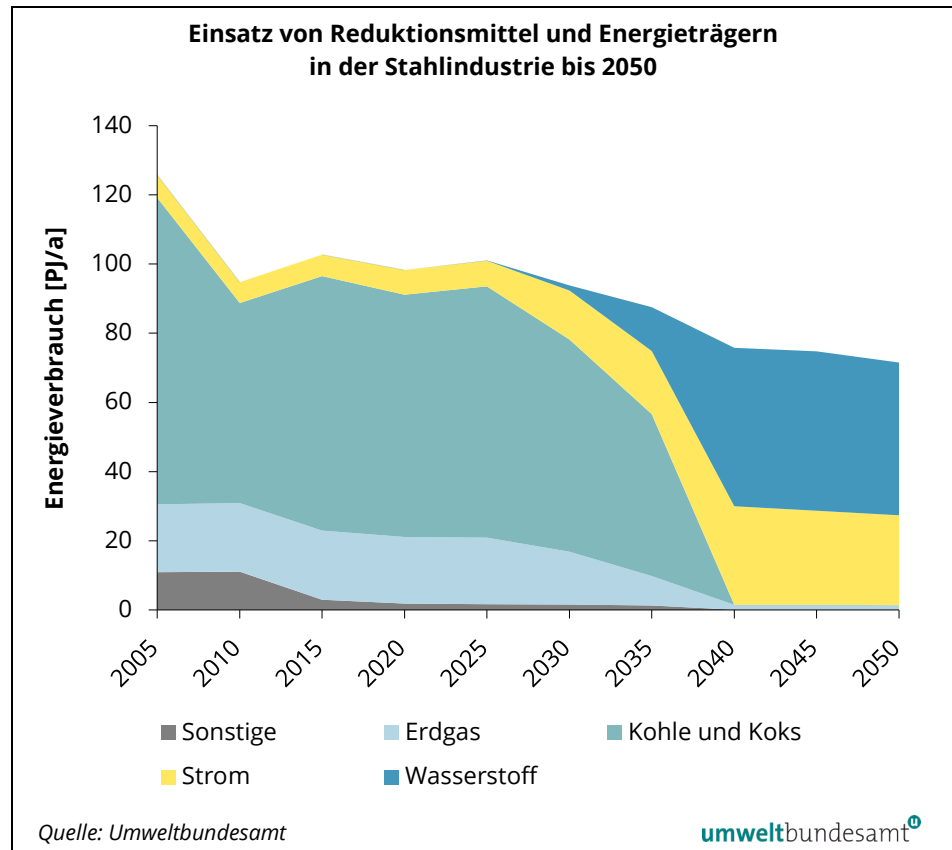
mehr kosteneffizient ist. Emissionen nach 2040 sind metallurgisch bedingte Prozessemissionen.

Abbildung A3:
Treibhausgasemissionen
und Energieeinsatz für
die Herstellung von Eisen
und Stahl.



Zwischen 2025 und 2030 werden Kohle und Koks teilweise durch Strom ersetzt, wobei durch das effizientere Elektrostahlverfahren der Energieeinsatz auch zurückgeht. Nach 2030 wird für die Herstellung von Stahl zunehmend Wasserstoff eingesetzt, womit bis 2040 der Hochofenprozess keine Rolle mehr spielt und hier kein Koks bzw. keine Kohle mehr eingesetzt wird. Für die Weiterverarbeitung von Stahl wird ab 2030 zunehmend Erdgas durch Strom und Wasserstoff ersetzt. Ab 2040 werden nur noch sehr geringe Mengen an prozessbedingten Kohlen und Erdgas eingesetzt.

Abbildung A4:
Einsatz von Reduktions-
mittel und Energieträ-
gern in der Stahlindus-
trie bis 2050.



ANHANG 4 – TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES SZENARIO TRANSITION VON 1990 BIS 2050

Tabelle A3: Treibhausgasemissionen des Szenario Transition von 1990 bis 2050 mit relativen Jahresvergleichen.

Mio. t CO ₂ -äq.	1990	2005	2020	2030	2040	2050	1990– 2020	1990– 2030	1990– 2040	1990– 2050	2005– 2030	2005– 2030	2005– 2040	2005– 2050
Energie und Industrie mit Emissionshandel	36,4	41,6	32,4	20,5	4,5	4,0	-11 %	-44 %	-88 %	-89 %	-22 %	-51 %	-89 %	-90 %
Energie und Industrie ohne Emissionshandel		5,8	5,4	3,8	0,6	0,5					-8 %	-35 %	-90 %	-91 %
Energie und Industrie Emissionshandel *		35,7	27,0	16,7	3,9	3,5					-24 %	-53 %	-89 %	-90 %
Verkehr **	13,8	24,6	20,7	8,6	0,1	0,0	51 %	-37 %	-100 %	-100 %	-16 %	-65 %	-100 %	-100 %
Gebäude	12,9	12,7	8,1	3,7	0,2	0,1	-37 %	-72 %	-99 %	-99 %	-37 %	-71 %	-98 %	-99 %
Landwirtschaft	9,8	8,3	8,2	5,5	4,3	3,8	-16 %	-43 %	-56 %	-61 %	-2 %	-33 %	-48 %	-54 %
Abfallwirtschaft	4,7	3,6	2,3	2,0	1,7	1,2	-50 %	-56 %	-64 %	-75 %	-35 %	-43 %	-53 %	-67 %
F-Gase	1,6	1,8	2,2	0,8	0,2	0,2	42 %	-50 %	-84 %	-90 %	23 %	-57 %	-86 %	-91 %
THG nach KSG (ohne EH) ***		56,8	46,9	24,5	7,1	5,9					-18 %	-57 %	-88 %	-90 %
Gesamte Treibhausgase	79,0	92,6	73,9	41,2	11,0	9,4	-6 %	-48 %	-86 %	-88 %	-20 %	-56 %	-88 %	-90 %

* Daten für 2005 bis 2012 wurden entsprechend der ab 2013 gültigen Abgrenzung des EH angepasst. Die aktuellen Emissionsdaten weichen von bisher publizierten Zeitreihen ab.

** Verkehr inkl. nationalem Flugverkehr (nationaler Flugverkehr 2020: rund 23 kt CO₂).

*** Sektoreinteilung nach Klimaschutzgesetz (KSG) – ohne Emissionshandel und ohne CO₂-Emissionen aus nationalem Flugverkehr.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Das Umweltbundesamt zeigt in Zusammenarbeit mit Expert:innen von CESAR, e-think, TU Graz und TU Wien einen Weg zu einem klimaneutralen Österreich. Klimaneutralität 2040 erfordert gesetzliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen, um den Energieverbrauch deutlich zu reduzieren, erneuerbare Energieträger stärker einzusetzen wie auch die Entwicklung der Wirtschaft von den Treibhausgasemissionen zu entkoppeln

Die Modellierung zeigt, dass für 2040 der Energieverbrauch um 30 % reduziert werden kann (bezogen auf 2020), bei den Treibhausgasemissionen ist eine Reduktion um 84 % möglich. Die verbleibenden Emissionen aus Energie und Industrie, Landwirtschaft und Abfallbehandlung können durch weitere Reduktions- und Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden. Für Wirtschaftswachstum, Beschäftigung und Einkommen sind leicht positive Effekte zu erwarten.